

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Кудря С.О.

«___» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Нетрадиційні та відновлювані
джерела енергії»**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

**на тему: «Комплексна сонячно – вітрова система з водневим
акумуляуванням енергії»**

Виконала:

студент VI курсу, групи ЕД-91мп

Селезньов Павло Олександрович _____

Науковий керівник:

Доцент, доктор технічних наук

Будько Василь Іванович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Повна назва інституту/факультету

Повна назва кафедри

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 ««Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кудря С.О.

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Селезньову Павлу Олександровичу

1. Тема дисертації «Комплексна сонячно – вітрова система з водневим акумулюванням енергії», науковий керівник дисертації Будько Василь Іванович, доцент, доктор технічних наук, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: Процеси перетворення енергії Сонця та вітру в енергію водню при електролізі води.

4. Вихідні дані: Земельна ділянка площею 145 м².

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) комплектація ФЕС та ВЕУ;

б) розрахунок сонячно-вітрової системи для акумулювання водню;

в) вибір основного обладнання;

г) розрахунок терміну окупності;

д) визначення впливу на навколишнє середовище;

е) розроблення стартап проекту;

є) охорона праці.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

а) графік приходу інсоляції;

б) суміжний графік виробітку електроенергії ФЕС та ВЕС;

в) під'єднання сонячно-вітрової станцій до електролізера;

г) терміни окупності на виготовлення сонячно-вітрової системи з водневим акумулюванням енергії.

7. Орієнтовний перелік публікацій: Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики»

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Комплектація мережевих ФЕС та ВЕС		
2	Розрахунок параметрів вітроенергетичної станції		
3	Розрахунок фотоелектричної станції		
4	Вибір основного обладнання для електролізу		
5	Під'єднання сонячно-вітрової станції до електролізера		
6	Розрахунок кошторису та впливу станції на навколишнє середовище		
7	Охорона праці		
8	Розроблення стартап проекту		
9	Оформлення роботи		
	Підготовка до здачі роботи		

Студент

Селезньов П.О.

Науковий керівник

Будько В.І.

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Перехід до низьковуглецевої енергетики це одна із основних задач сьогодення і «зелений водень» може стати основою для її досягнення. Існує багато технологій отримання водню, переважна більшість з яких пов'язана з використанням викопної сировини. З точки зору максимального залучення ВДЕ до енергетики світу найбільш актуальним вбачається використання технологій електролітичного отримання «зеленого водню».

У всьому світі починає активно розвиватись воднева енергетика. «Зелений водень» приходить на заміну дизеля на транспорті, природного газу в опаленні і вугілля в металургії. А 13 серпня 2020 року оператор газотранспортної системи (ГТС) України увійшов до новоствореного Європейського альянсу з чистого водню на ряду з іншими західними операторами ГТС. Саме тому, тема даної магістерської дисертації є актуальна.

Зв'язок роботи з науковими планами. Дослідження, що подані в даній роботі, проводились за напрямком розвитку водневої енергетики України: розробка та впровадження ефективних енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії, забезпечених системами акумулювання, зберігання, транспортування та використання «зеленого водню».

Мета і задачі дослідження. Збільшення використання електроенергії виробленої комплексною сонячно – вітровою системою за рахунок застосування водневого акумулювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі наукові задачі:

- 1) Проаналізувати існуючі уявлення про технології виробництва водню та оцінити енергетичну ефективність електролітичних технологій.
- 2) Проаналізувати особливості реалізації комплексних вітро - сонячних систем.

- 3) Оцінити потенційно можливий виробіток ФЕУ та ВЕУ, та встановити енергетичні умови здійснення процесу електролізу.
- 4) Вибрати, на основі аналізу технічних характеристик, основне та допоміжне обладнання і устаткування для реалізації системи.
- 5) Розробити стартап проект комплексної сонячно – вітрової системи з водневим акумулюванням енергії.

Об'єкт дослідження. Процеси перетворення енергії Сонця та вітру в енергію водню в комплексних системах.

Предмет дослідження. Енергетичні характеристики перетворення енергії Сонця та вітру в енергію водню.

Методи дослідження. Для розрахунків приходу сонячної інсоляції та ймовірних виробітків вітроелектричної установки використовувались методи статистичного аналізу з використанням середовища Matlab.

Наукова новизна. Запропоновано підхід збільшення використання енергії від комплексних сонячно – вітрових систем, який на відміну від існуючих застосовує виробництво «зеленого водню» методом електролізу.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена електрична та принципова схеми комплексної сонячно - вітрової системи з водневим акумулюванням енергії, що дозволяє збільшити використання енергії первинного джерела.

Публікації. «Комплексне використання сонячно–вітрової системи з водневим акумулюванням енергії» // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики», 2020 р. Київ.

Ключові слова: фотоелектрична установка, вітроелектрична установка, «зелений» водень, відновлювані джерела енергії, відновлювана енергетика.

ABSTRACT

Actuality of theme. The transition to low-carbon energy is one of the main tasks of today and "green hydrogen" can be the basis for its achievement. There are many technologies for producing hydrogen, the vast majority of which involve the use of fossil fuels. From the point of view of maximum involvement of RES in the world's energy, the use of electrolytic technologies for "green hydrogen" is considered to be the most relevant.

Hydrogen energy is beginning to develop actively all over the world. "Green hydrogen" replaces diesel in transport, natural gas in heating and coal in metallurgy. And on August 13, 2020, the gas transmission system operator (GTS) of Ukraine joined the newly formed European Alliance for Pure Hydrogen, along with other Western GTS operators. That is why the topic of this master's dissertation is relevant.

Connection of work with scientific plans. The research presented in this paper was conducted in the direction of development of hydrogen energy in Ukraine: development and implementation of efficient energy systems based on renewable energy sources, equipped with storage, storage, transportation and use of "green hydrogen".

The purpose and objectives of the study. Increasing the use of electricity generated by the integrated solar - wind system due to the use of hydrogen accumulation.

To achieve this goal it is necessary to perform the following scientific tasks:

- 1) Analyze existing ideas about hydrogen production technologies and evaluate the energy efficiency of electrolysis technologies.
- 2) To analyze the features of the implementation of complex wind - solar systems.
- 3) Assess the potential production of photomultiplier tubes and wind turbines, and establish the energy conditions for the electrolysis process.
- 4) Select, based on the analysis of technical characteristics, the main and auxiliary equipment and facilities for the implementation of the system.

5) To develop a startup project of a complex solar - wind system with hydrogen energy storage.

Object of study. Processes of conversion of solar and wind energy into hydrogen energy in complex systems.

Subject of study. Energy characteristics of conversion of solar and wind energy into hydrogen energy.

Research methods. Methods of statistical analysis using Matlab medium were used to calculate the arrival of solar insolation and probable outputs of the wind power plant.

Scientific novelty. An approach to increase the use of energy from complex solar - wind systems is proposed, which, in contrast to the existing ones, uses the production of "green hydrogen" by electrolysis.

The practical significance of the obtained results. An electrical and schematic diagram of a complex solar - wind system with hydrogen energy storage has been developed, which allows to increase the energy use of the primary source.

Publications. "Integrated use of solar-wind system with hydrogen energy storage" // International scientific and technical journal of young scientists, graduate students and students "Modern problems of electrical engineering and automation", 2020 Kyiv.

Key words: photovoltaic plant, wind power plant, "green" hydrogen, renewable energy sources, renewable energy.

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	11
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1	16
КОМПЛЕКСНА СОНЯЧНО – ВІТРОВА СИСТЕМА З ВОДНЕВИМ АКУМУЛЮВАННЯМ ЕНЕРГІЇ	16
1.1 Класифікація та особливості СЕУ	17
1.2 Тенденції розвитку фотоелементів.....	20
1.3 Огляд існуючих фотоелектричних елементів.....	21
1.3.1 Кристалічні фотоелементи.....	21
1.3.2 Тонкоплівкові фотоелементи.....	23
1.3.3 Фотоелементи на основі технології Half Cell	26
1.3.4 Фотоелементи на основі технології HJT	27
1.4 Огляд основних виробників фотоелектричних модулів	28
1.5 Енергетичні ресурси сонячної енергетики України	30
1.6 Етапи розвитку вітроенергетики	32
1.7 Призначення та класифікація вітроенергетичних установок	34
1.8 Вітроенергетика в Україні	39
1.9 Методи отримання водню, їх переваги та недоліки	42
1.10 Методи зберігання та транспортування водню	45
1.11 Висновок	47
РОЗДІЛ 2	48
РОЗРАХУНОК КОМПЛЕКСНОЇ СОНЯЧНО – ВІТРОВОЇ СИСТЕМИ З ВОДНЕВИМ АКУМУЛЮВАННЯМ ЕНЕРГІЇ	48
2.1 Аналіз вітроенергетичного потенціалу майданчика будівництва ВЕС за заданою місцевою потужністю 6,47 МВт.....	49
2.1.1 Опис майданчика. Клімат місцевості.....	49
2.1.2 Моніторинг швидкості вітру	52
2.2 Вибір та обґрунтування типів та параметрів вітроенергетичного обладнання	53

2.2.1	Одинична номінальна потужність ВЕУ	53
2.2.2	Визначення класу ВЕУ	53
2.2.3	Допустимі температурні діапазони	55
2.2.4	Аналіз ринку вітроенергетичного обладнання	55
2.3	Розробка компоновки ВЕС	58
2.4	Оцінка річного виробітку енергії	60
2.4.1	Розрахунок загального виробітку електроенергії за рік.....	60
2.5	Основні вимоги будівництва ВЕС.....	63
2.6	Вибір фотоелектричних перетворювачів для СЕС.....	64
2.7	Розрахунок кута нахилу фотоелектричних модулів.....	68
2.8	Сумарний виробіток сонячно - вітрової електростанції	74
2.9	Розрахунок максимально можливого виробітку водню для комплексної сонячно – вітрової електростанції.....	77
2.10	Висновки до другого розділу.....	81
РОЗДІЛ 3		82
РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ТА ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ		82
3.1	Термін окупності станції	83
3.2	Екологічний вплив станції на навколишнє середовище	83
3.3	Висновки до третього розділу	84
РОЗДІЛ 4		85
РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ.....		85
4.1	Система водневого акумулювання електроенергії.....	86
4.1.1	Опис ідеї проекту	86
4.1.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	86
4.1.3	Аналіз можливостей ринку для запуску стартап-проєкту	88
4.1.4	Висновки до четвертого розділу.....	88
РОЗДІЛ 5		89
ОХОРОНА ПРАЦІ		89
5.1	Загальні положення.....	90

5.2 Електролізерні установки	90
5.3 Охорона праці та техніка безпеки на СЕС	91
5.4 Охорона праці та техніка безпеки на ВЕС	93
5.5 Висновки до п'ятого розділу	96
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	99
ДОДАТКИ	101

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВДЕ - відновлювані джерела енергії;

ВЕ - відновлювана енергетика;

ФЕС – фотоелектрична станція;

ФЕМ – фотоелектричний модуль;

ВЕС – вітроелектрична установка;

СЕС – сонячна електростанція;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ТП – трансформаторна підстанція;

РП – розподільчий пристрій;

ТЕС – теплова електростанція

ВСТУП

Протягом багатьох років традиційна енергетика забезпечувала людство необхідною кількістю електрики, створюючи сприятливі умови для його життя. Однак, в той же час, традиційна енергія є джерелом негативного впливу на людину і навколишнє середовище в цілому. Ці дії виникають у зв'язку з наявністю ряду проблем традиційної енергетики, економічного, екологічного і технологічного характеру. Проблеми технологічного характеру на тлі зростання світового енергоспоживання тягнуть за собою енергетичну проблему.

Як показує світовий і вітчизняний досвід, енергетичні та екологічні проблеми можуть бути вирішені з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема, сонячних фотоелектричних систем [1] і вітрових електростанцій.

На сьогоднішній день найбільш популярним методом використання сонячної енергії є фотоелектричний метод. Розвиток сонячних фотоелектричних установок обумовлено рядом переваг:

- Можливість забезпечення електроенергією споживачів різної потужності;
- Надійність фотоелектричних модулів за рахунок відсутності обертових частин;
- Довговічність фотоелементів;
- відсутність шуму;
- Екологічна чистота при експлуатації;
- Пряме перетворення сонячного випромінювання в електроенергію.

Крім того, динаміка світового розвитку ВДЕ показує, що фотоелектрика розвивається дуже швидко. За останні п'ять років щорічні темпи зростання виробництва сонячної фотоелектричної енергії досягли 25-30%.

Окрім переваг даний метод має і недоліки:

- Потреба великих площ та територій для будівництва сонячної електростанції;
- Виробіток непостійний та залежить від клімату та широти місцевості;
- Низький коефіцієнт корисної дії.

Вітрова енергетика не відстає від сонячної. Являючись також альтернативним джерелом енергії, вона невпинно нарощує потужності в усьому світі. Лише в Україні на сьогоднішній день потужності вітрових електростанцій перевищують 51 МВт. За оцінками фахівців, загальна потенційна потужність української вітроенергетики становить 5000 МВт.

Україна має гарний вітровий потенціал і значні території, придатні для розвитку вітрових проектів. Найбільш перспективними для будівництва вітроелектростанцій вважаються південні й південно-східні регіони країни, де середня швидкість вітру на висоті осі ротора сягає 7 м на секунду і вище. За рахунок різниці температур Чорного та Азовського морів, що провокує переміщення повітряних мас, на території від Одеської до Херсонської області утворилася так звана «повітряна труба». Гарний вітроенергетичний потенціал мають і Карпати, Івано-Франківська та Львівська області.

Наразі за кількістю встановлених вітроенергетичних потужностей лідирують Запорізька, Миколаївська та Херсонські області, але перші вітропарки також з'являються в багатьох інших областях.

Хоча сонячна та вітрова енергетики дають відповідь на питання «чистого виробітку» електроенергії, проте не відповідають на наступне, не менш важливе питання – акумулювання даної енергії.

Сучасні методи акумулювання електроенергії базуються на використанні хімічних акумуляторів енергії, які в свою чергу є не тільки дорогими в плані придбання та обслуговування, а й наносять шкоду навколишньому середовищу.

Сучасні проблеми вимагають сучасних рішень. Одним з таких в даному питанні виступає водень. Водень — це енергоносіє (як, наприклад, електрика), а не основне джерело енергії (як, наприклад, вугілля). Водень має високу щільність енергії за вагою. Використання водню як палива позитивно вплине на енергетичну безпеку, екологію та економічне зростання. Водень допоможе поліпшити енергетичну безпеку (тобто незалежність від країн-постачальників), тому що його можна отримувати із багатьох первинних джерел енергії, зокрема і відновлюваних.

Хоча використання відновлюваних ресурсів для одержання водню шляхом електролізу потребуватиме більших витрат енергії, ніж пряме використання цих ресурсів, через додаткову стадію перетворення та втрати при транспортуванні, водень є придатнішим для запасання електрики. Він не потребує цінних матеріалів, як для виготовлення батарей, та може бути запасений у великій кількості на випадок тимчасової відсутності сонця або вітру.

РОЗДІЛ 1
КОМПЛЕКСНА СОНЯЧНО – ВІТРОВА СИСТЕМА З ВОДНЕВИМ
АКУМУЛЮВАННЯМ ЕНЕРГІЇ

1.1 Класифікація та особливості СЕУ

Сонце є невичерпним джерелом енергії, що випромінюють кожну секунду $88 \cdot 10^{24}$ кал тепла, що еквівалентно $1,02 \cdot 10^{20}$ кВт-год. 50% від загального обсягу випромінювання надходить безпосередньо на поверхню нашої планети. Проходячи через верхні шари атмосфери, менше половини цього випромінювання розсіяно (23% - розсіяне сонячне випромінювання, 27% - пряме сонячне випромінювання). Переваги енергії сонячного випромінювання в порівнянні з традиційними видами палива такі:

- джерело енергії (Сонце) практично невичерпний;
- можливість використання сонячної енергії на більшій частині поверхні Землі в якості локального джерела енергії;
- можливість прямого перетворення енергії сонячного випромінювання в електрику;
- можливість отримання високих температур (500°C);
- прискорення дії в фотохімічних процесах [2].

З огляду на це, не дивно, що людство почало створювати СЕУ для використання цієї енергії для власних потреб.

Сонячна електростанція - це установка, основною метою якої є перетворення сонячного випромінювання в інші види енергії (теплову, механічну, хімічну). Сьогодні, у зв'язку з надмірною кількістю різних видів СЕУ, вони потребують класифікації для підвищення своєї ефективності в майбутньому. Тому СЕУ класифікуються за такими основними ознаками:

- В напрямку розвитку і трансформації СО;
- по стаціонарності;
- з технічної складності;
- За типом орієнтації на Сонце.

Існує 3 основних *напрямки освоєння та перетворення сонячної енергії*:

Тепловий – уловлення радіаційного випромінювання колектором (рисунок 1.1) (об'ємна конструкція, що має чорну поглинаючу поверхню та теплоносій, що циркулює всередині);



Рисунок 1.1 – Теплова система нагрівання води

Теплодинамічний – концентрація енергії СВ на котлі, пара з якого повинна надходити на турбіну з електрогенератором (рисунок 1.2)



Рисунок 1.2 – Сонячна теплодинамічна електростанція

Фотоелектричний – уловлення електромагнітного випромінювання Сонця та перетворення в електроенергію. Сучасні генератори, виконані на напівпровідниковій основі, можуть досягати коефіцієнту корисної дії у 22% (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Фотоелектричні панелі

За *стаціонарністю* СЕУ поділяють на стаціонарні, пересувні та переносні. Вони різняться між собою за складністю конструктивного виконання, за масо-габаритними характеристиками та за надійнісними характеристиками [3].

За *технічною складністю* СЕУ діляться на прості та складні за виконанням і технологічним циклом.

Виділяють два види СЕУ *по орієнтації на Сонце* – з незмінною орієнтацією та з трекерною системою (система слідування за Сонцем з метою збільшення приходу прямої сонячної радіації на поверхню пристрою).

1.2 Тенденції розвитку фотоелементів

Людство вже давно перетворює енергію Сонця в інші види енергії. Метод перетворення сонячної енергії в електрику є найбільш поширеним на сьогоднішній день і має свою історію.

Феномен фотоелектричної енергії був відкритий АЕ. Беккерель в 1839 році, а в 1889 році, через 50 років, був створений перший сонячний елемент, основними компонентами якого були золото і селен. Цей елемент був створений Чарльзом Фрітцем, але йому не вдалося збільшити ККД навіть до 1%.

Однак цього вдалося домогтися вченим під керівництвом академіка А.Б. Іоффе на початку XX століття. Їм вперше вдалося отримати електрику. Їх сонячні батареї були створені на основі сірчаної талії і мали ККД до 1%. Цей результат перевершив американських вчених Фуллера, Чапліна і Пірсона, які в середині XX століття створили фотоелемент з кремнію. Ефективність цього елемента склала 6%, що дало поштовх до висновку фотоелементів на промисловий рівень [4].

У розробці ефективних фотогальванічних елементів брали участь не тільки американські вчені. В СРСР в 70-і роки ефективність фотоелектричних елементів підвищилася до 10% за рахунок використання арсеніду галію. Однак, так як ці фотогальванічні елементи не були придатні для установки на Землі через високу вартість їх виробництва і необхідних матеріалів, вони використовувалися тільки в космічних апаратах, і розробка самих сонячних фотогальванічних елементів була припинена.

Розробка відновилася тільки в 90-х роках XX століття, коли вченим вдалося досягти ефективності в 15% [5]. До початку XXI століття максимальний ККД досяг 20%, а з 2009 року американська компанія "Спектролаб" випускає сонячні панелі зі складними каскадних системами з ККД 38,5% [6].

В даний час випускається велика кількість сонячних батарей, які мають різні технології виробництва.

1.3 Огляд існуючих фотоелектричних елементів

В останні роки СЕС набирає популярність. Екологічно і економічно вигідна енергія привертає увагу всіх верств населення. Високий споживчий попит змушує ринок сонячної енергетики неухильно зростати і збільшувати пропозицію з боку виробників. Тому не дивно, що в даний час існує декілька технологій виробництва фотоелектричних елементів. Основними видами ФЕМ є кристалічні фотоелементи і тонкоплівкові фотоелементи.

1.3.1 Кристалічні фотоелементи

Термін служби фото модулів зазвичай становить 25 років. Через 25 років потужність становитиме 80% від поточної потужності фотоелемента. Кристалічні фотоелементи діляться на моно- і полікристалічні. Монокристалічні фотоелементи є найбільш ефективними і тому найдорожчими на ринку. Відношення площі фотомодуля до його потужності одне з кращих. Однак у них є і недоліки, головним з яких є більш висока вартість в порівнянні з іншими типами фотоелементів. Якщо основним завданням при виборі фотоелектричних модулів є максимальна віддача сонячних батарей на певній площі, то монокристалічні елементи є кращими. Монокристалічні елементи мають форму квадратів з усіченими або закругленими кутами (вони виготовляються з циліндричних заготовок). Вони мають однорідну поверхню, без плям і зміни кольору (рис. 1.4). Ефективність (ККД) досягає 22% і є найвищою серед усіх видів.



Рисунок 1.4 – Сонячна монокристалічна батарея

Полікристалічні фотомодулі випереджають тонкоплівкові по ефективності і близькі до монокристалічним фотоелектричним осередкам. Основні переваги:

- дуже гарне співвідношення ціни і якості;
- хороше співвідношення площі поверхні модуля і його потужності;
- хороші температурні коефіцієнти.

Цей тип фотомодулів є найпопулярнішим на ринку в даний час.

Завдяки особливостям технологічного процесу при виробництві фотоелементи мають квадратну форму і неоднорідну структуру і колір (рис. 1.5). Як правило, ефективність таких фотоелементів становить 13-18% [7].



Рисунок 1.5 – Полікристалічна сонячна панель

Для кращого порівняння характеристик фотомодулів зведемо всі дані у порівняльну таблицю (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристики кристалічних фотоелементів

Фотоелемент	Монокристалічний	Полікристалічний
ККД, %	15-22	13-18
Форма	Квадратна із заокругленими або зрізаними кутами	Квадратна
Товщина, мм	0,2 – 0,3	0,24 – 0,3
Колір	Від темно-синього до чорного	Синій
Зовнішній вигляд	Однорідний	Неоднорідний(блок кристалів різного напрямку)

Хоча на перший погляд монокристалічні фотогальванічні осередку є кращими - це не завжди так.

По-перше, монокристалічні фотогальванічні осередку краще перетворюють тільки енергію з прямого сонячного світла. Розсіяне випромінювання перетвориться з однаковою ефективністю обома кристалічними елементами, і тому частка виробництва з нього більше в полікристалічних фотогальванічних осередках. З цього випливає, що в монокристалічних елементах більший вплив на виробництво надає орієнтація.

По-друге, багато що залежить від якості і технології виробництва. У деяких випадках полікристалічний фотомодуль від провідного виробника може бути набагато ефективніше монокристалічного фотомодуля невідомої китайської марки [8].

1.3.2 Тонкоплівкові фотоелементи

Інший відомий, але не популярний тип - тонкоплівкові фотоелектричні комірки. Цей тип є найдешевшим на ринку. Головним недоліком є низька ефективність, тобто відношення потужності на одиницю площі значно менше, ніж у кристалічних фотомодулів. Однак вони мають гарну світлочутливість і досить низьким температурним коефіцієнтом. У тонкоплівкових елементах основна частка виробництва припадає на розсіяне випромінювання, тому вважається, що орієнтація не впливає на виробництво тонкоплівкових модулів [7]. Тонкоплівкові фотоелементи діляться на:

- фотоелементи, які використовують дісіліденід індію і міді (технологія CIS);
- фотоелементи з використанням телуриду кадмію (технологія CdTe);
- фотоелементи з використанням аморфного кремнію.

Для наочного порівняння цих фотоелементів розглянемо їх характеристики, узагальнивши їх у таблиці (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Характеристики тонкоплівкових фотоелементів

фотоелемент	CIS технологія	CdTe технологія	Аморфний кремній
ККД, %	9-11	8,5	5-7
Форма елемента	Відповідає формі модуля	Відповідає формі модуля	Відповідає формі модуля
Товщина модуля, мм	2-4	3	1-3
Колір	Від темно-сірого до чорного	Від дзеркального темно-зеленого до чорного	Від коричневого до синього або фіолетового
Зовнішній вигляд	Однорідний	Однорідний	Однорідний
Термін служби, роки	25	25	10

CIS-фотомодулі мають найбільший ККД серед тонкоплівкових модулів, проте ці модулі піддаються корозії від струмів витоку в зв'язку з застосуванням у їхньому виробництві електролізу (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – фотомодуль з використанням діселеніда індію і міді

CdTe-фотомодулі не схильні до корозії, але є небезпечними небезпечними для здоров'я, адже кадмій – це токсичний елемент, що викликає гострі отруєння. Зіпсовані фотопанелі, вироблені за цієї технологією, підлягають обов'язковій утилізації (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - фотомодуль з використанням телуриду кадмію

Фотомодулі з аморфного кремнію хоть і не токсичні, і не схильні до корозії, проте мають дуже низький ККД, а активні елементи можуть вигорати на сонці. Протягом 6-12 місяців відбувається зниження потужності і вихід на сталий рівень (рисунок 1.8) [8].



Рисунок 1.8 - фотоелементи з використанням аморфного кремнію

1.3.3 Фотоелементи на основі технології Half Cell

Фотоелементи, які виконані на основі даної технології складаються з кремнієвих комірок, поділених навпіл (рисунок 1.9). Це дозволяє зменшити втрати фотоелементів, а також втрати, спричинені мікротріщинами та наявністю бруду. ККД даних фотоелементів сягає 17-20%.

Переваги:

- збільшення виробітку електроенергії (через зменшення опору та довжини фотоелемента);
- менші втрати при частковому затіненні фотомодуль;
- удвічі менш вразливий до точкових механічних пошкоджень та забруднень.

Недоліки:

- менша надійність модуля (спричинено великою кількістю з'єднань в модулі).



Рисунок 1.9 – Сонячний фотомодуль на основі технології Half Cell

1.3.4 Фотоелементи на основі технології НІТ

Фотоелектричні комірки на основі НІТ складаються з декількох шарів різних типів кремнію (монокристалічна кремнієва пластина, неоперованих аморфний кремній і заряджений аморфний шар кремнію). Оскільки його ефективність досягає 22%, він включений в список найбільш ефективних фотоелектричних осередків (рис. 1.10).

переваги:

- Хороша стійкість до фізичних взаємодій і температур;
- виробляє більше електроенергії, ніж традиційні фотомодулі, завдяки ефективному використанню гетероперехода між шарами елемента.

Недоліки:

- висока вартість виробництва.

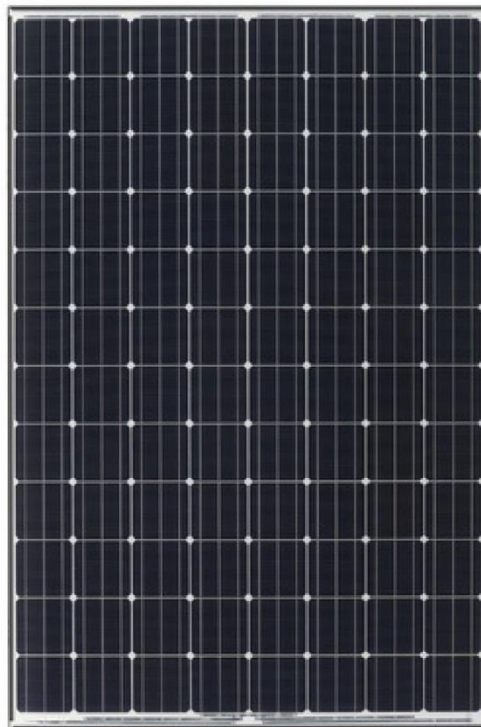


Рисунок 1.10 - Сонячний фотомодуль на основі технології НІТ

1.4 Огляд основних виробників фотоелектричних модулів

В даний час багато виробників конкурують за право бути лідером на ринку сонячної енергії. Були розглянуті основні виробники, які на даний момент є найбільш популярними на українському ринку: ABI-Solar, Amerisolar, JA Solar, C & T і Jinko Solar.

ABI-Solar. Дослідження ринку показало, що ця компанія займає одну з лідируючих позицій в Україні за рівнем довіри серед інсталяторів. Вона також визнана лідером за співвідношенням ціна-якість. Компанія вийшла на ринок в 2013 році і виробляє такі продукти, як: фотогальванічні панелі, інвертори та їх електрозахист, контролери заряду. З 2017 року ABI-Solar виробляє фотогальванічні елементи тільки на підприємствах першого рівня, що збільшило їх попит, так як їм вдалося зберегти відносно низьку ціну на продукцію [9].

Амерісолар. Є провідним виробником сонячних модулів з 1993 року. У 2013 р "Амерісолар" скорегував свою стратегію і почав працювати з фабриками вищого рівня на Тайвані, в США і Південної Кореї з виробництва модулів "Амерісолар". Компанія демонструє зростаючу конкурентоспроможність, зокрема, на ринках США, ЄС і України. В даний час потужність виробництва досягає 2,20 ГВт.

Модулі "Амерісолар" сертифіковані компаніями ETL, TUV, KTL, JET, JPEC, MCS, CEC, CGC, CQC, ISO9001, ISO14001, OHSAS18001 і китайською компанією "Golden Sun". Модулі Amerisolar широко використовуються в США, Німеччині, Великобританії, Франції, Австралії, Японії, Італії, Нідерландах, Канаді, Південній Кореї, Греції, Тайвані і багатьох інших країнах і регіонах.

Амерісолар "має сучасну випробувальну лабораторію і працює з німецькими та американськими експертами і інженерами. Технічні послуги компанії включають в себе технічне проектування, монтаж і інтелектуальне обслуговування сонячних електростанцій [10].

JA Solar. З 2010 р вважається одним з провідних лідерів на ринку сонячних батарей. Сонячне обладнання JA Solar відрізняється високим класом конструкції, що забезпечує найбільш ефективну взаємодію фотоелементів модулів, що гарантує високу потужність одержуваної електроенергії. Компанія займає п'яте місце в рейтингу Tier 1 (табл. 1.3). Компанія JA Solar досягла цього успіху завдяки глибоким дослідженням і новим розробкам, що дозволяє їй оптимізувати процес виробництва фотоелектричних елементів і задовольняти зростаючі потреби клієнтів.

Досить часто технологічні розробки компанії випереджають інших виробників як мінімум на 6-12 місяців. На сьогоднішній день JA Solar є єдиною компанією в галузі, яка на 100% використовує технологію подвійної друку у виробництві фотогальванічних елементів. Крім того, модулі цієї компанії надійні і мають високу ефективність. Це досягається за рахунок унікальної конструкції модуля: знижено серійне опір і зменшено зусилля між роз'ємами осередку [11].

C & T. Є відомим виробником якісного і бюджетного обладнання на світовому ринку поновлюваних джерел енергії. Сонячні батареї цієї компанії є хорошим рішенням для станцій, що працюють за "зеленим" тарифом, а також для тих, хто хоче отримати максимально швидкий термін окупності і гарантовану державою компенсацію.

C & T Solar пропонує ряд інноваційних рішень для сонячної енергетики. Основне виробництво знаходиться в Китаї. Компанія дотримується політики суворого контролю якості продукції, зберігаючи при цьому конкурентоспроможні ціни [12].

Джинко Солар. Дана компанія є одним з найбільших виробників сонячних модулів в світі і займає почесне 3-є місце в списку Tier 1 (Таблиця 1.3). Компанія ДжінкоСолар поширює свою продукцію в Японії, Китаї, США, Німеччині, Чилі, Великобританії, ПАР, Мексиці, Бразилії, Індії, Об'єднаних Арабських Еміратах, Іспанії, Італії, Франції, Бельгії та інших країнах і регіонах.

Станом на 31 грудня 2018 року компанія Jinko Solar побудувала вертикально інтегровану виробничо-збутовий ланцюжок для сонячної продукції з інтегрованою річною потужністю 9,7 ГВт для кремнієвих пластин, 7,0 ГВт для сонячних панелей і 10,8 ГВт для сонячних модулів [13].

Таблиця 1.3 – Рейтинг компаній-виробників фотомодулів за 2018 рік

Місце	Фірма-виробник	Річна потужність, МВт/рік
1	Canadian Solar	8,11
2	Trina Solar	8
3	Jinko Solar	8
4	Hanwha Q Cells	8
5	JA Solar	7

1.5 Енергетичні ресурси сонячної енергетики України

Як відомо, в Україні є всі необхідні умови для використання невичерпної енергії Сонця. Загальний річний приплив сонячної радіації на територію України еквівалентний 88,4 млрд. Тонн [14]. Теоретично і технічно можливий потенціал сонячної енергії на території України наведено в таблиці 1.4 і на рисунку 1.11 [15]. Цей енергетичний потенціал дозволяє замінити 5 млрд. МЗ природного газу [16].

Таблиця 1.4 – енергетичний потенціал сонячної енергії на території України

№	Регіони	Потенціал енергії Сонця		
		Теоретично можливий потенціал ($\times 10^9$) т н.е./рік	Технічно можливий потенціал	
			млрд кВт*год/рік	($\times 10^7$) т н.е./рік
1	2	3	4	5
1	АР Крим	3,95	2,2	1,89
2	Одеська область	3,92	2,09	1,79
3	Херсонська область	3,29	1,84	1,69

Продовження таблиці 1.4

4	Дніпропетровська область	3,25	1,76	1,52
5	Запорізька область	3,1	1,66	1,48
6	Харківська область	3,01	1,62	1,42
7	Чернігівська область	2,94	1,6	1,41
8	Луганська область	2,9	1,56	1,4
9	Донецька область	2,87	1,54	1,38
10	Житомирська область	2,8	1,52	1,32
11	Миколаївська область	2,8	1,52	1,32
12	Полтавська область	2,68	1,5	1,3
13	Київська область	2,66	1,45	1,28
14	Черкаська область	2,64	1,4	1,22
15	Вінницька область	2,59	1,29	1,17
16	Кіровоградська область	2,38	1,26	1,08
17	Сумська область	2,24	1,21	1,04
18	Львівська область	2,17	1,12	1,01
19	Хмельницька область	2,1	1,08	1,0
20	Волинська область	1,89	1,04	0,87
21	Рівненська область	1,82	0,96	0,79
22	Тернопільська область	1,6	0,81	0,7
23	Івано-Франківська область	1,4	0,70	0,6
24	Закарпатська область	1,26	0,62	0,51
25	Чернігівська область	0,84	0,46	0,41
ВСЬОГО		63,01	33,77	29,63

Цей потенціал достатній для впровадження теплового і фотоелектричного обладнання практично в усіх областях. Практичне використання сонячного потенціалу на території України, і особливо в її південних регіонах, можливо завдяки сприятливому режиму сонячного випромінювання.

В Україні зростає популярність СЕС і сонячної енергетики в цілому. Виробництво необхідного обладнання вже кілька років перебуває в промисловому масштабі. При правильному використанні потенціалу сонячної енергетики України має можливість вийти на рівень Німеччини.

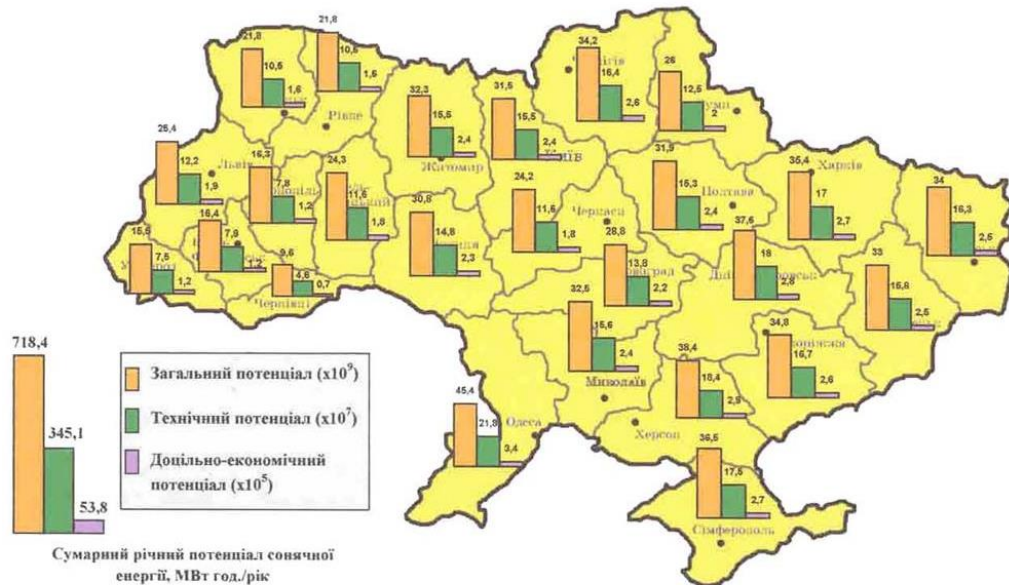


Рисунок 1.11 – Розподіл потенціалу сонячної енергії на території України

1.6 Етапи розвитку вітроенергетики

Енергія вітру використовувалася людиною з прадавніх часів. Спочатку в мореплаванні аж до появи парової машини, що замінила вітрила на судах. Але і вітроенергетика має багатовікову історію. Перші прості вітродвигуни застосовували в глибокій старовині в Єгипті і Китаї. У Єгипті близько м. Александрія досі збереглися залишки кам'яних вітряних млинів, барабанного типу з вертикальною віссю обертання, побудовані ще в 2-1 ст. до н.е. У 7 столітті н.е. в Персії (Ірані), Греції були побудовані досконаліші конструкції – крильчасті з горизонтальною віссю обертання. Дещо пізніше, мабуть у 8-9 ст. вітряні млини з'явилися в Західній Європі і на Русі. Починаючи з 13 століття вітродвигуни отримали широке поширення в Голландії, Данії, Англії і Росії для підйому води, подрібнення зерна і в якості приводу різних верстатів і механізмів..

Основою теорії вітродвигунів є розробки і результати досліджень, виконаних в Центральному аерогідродинамічному інституті (ЦАП) і в інших

організаціях в період з 1920 по 1950 рік Н.Є. Жуковським, К.П. Ветчиніним, А.Г. Уфимцевим, С.М. Белоцерківським, К.К. Федяєвським, Г.С. Сабініним, Г.Ф. Проскурій, О.І. Борисенко, Д. Я. Алексалольським, Ю.В. Кондратюком, К.П. Вашкевичем і іншими ученими, які розробили і здійснили на практиці декілька ефективних схем вітроустановок, що дозволяють плавно змінювати швидкість обертання вітроколеса і потужність генератора. Ці розробки, розвиток цих ідей і втілення їх в проекти сучасних ВЕС з доповненням сучасними матеріалами і новітніми знаннями по аеродинаміці турбін, динаміці і міцності конструкцій – основа сучасної вітроенергетики.

Вітровикористання у СРСР розглядалося як важлива державна проблема. Вже в 1924 р. під керівництвом М.В. Красовського у відділі вітродвигунів ЦАП був розроблений швидкохідний двигун потужністю до 50 к.с. з новою системою регулювання частоти обертання колеса, запропонованою Г.Х. Сабініним. Вона одержала назву стабілізаторної. З метою розширення робіт зі створення вітродвигунів і використання енергії вітру в 1930 р. на базі відділу вітродвигунів ЦАП був організований Центральний вітроенергетичний інститут (ЦВЕІ), єдина у світі в той час науководослідна організація такого профілю.

При конструюванні ВЕУ найбільш складним і відповідальним моментом є забезпечення керування оборотами вітроколеса, тому що умови паралельної роботи на мережу вимагають сталості частоти обертання генератора незалежно від швидкості вітру. Для цього використовується поворот лопаті навколо нерухомої осі. Зі зміною положення лопаті у відношенні до напрямку вітру змінюються й аеродинамічні сили, які діють на неї, що і покладено в основу регулювання. Поворот лопатей здійснюється або аеродинамічно за допомогою керма-стабілізатора, з'єднаного з відцентровим регулятором, розміщеним у крилі, що запропоновано, як сказано вище, професором Г.Х. Сабініним, або механічним шляхом – сервомоторами.

Попри те, що людство вже давно навчилося застосовувати енергію вітру для своїх потреб, початок його використання для промислової генерації енергії можна віднести до 1990 р. Таке відродження стало можливим завдяки розвитку технологій в області нових матеріалів і силовій електроніки. Різкий поштовх в розвитку вітроенергетики, наприклад в Німеччині, дав прийнятий там в 1991 р. закон, за яким власники електричних мереж зобов'язані були приймати в мережу вироблювану вітроенергетичними установками (ВЕУ) енергію і оплачувати її за тарифом, встановленим цим законом. Завдяки державній підтримці різко збільшились інвестиції у вітроенергетику, що привело до планомірного і стабільного зростання результатів протягом двох десятиліть і провідній ролі Німеччини в технологічному і апаратному розвитку вітроенергетики у світі [45].

На сьогодні вітроенергетика міцно зайняла своє місце як альтернативний, екологічно чистий спосіб отримання електроенергії і продовжує нестримно розвиватися. Цьому сприяють останні досягнення в області розробки нових видів генераторів електричної енергії, (наприклад синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів, генератори з поперечним магнітним потоком), досягнення в області силовій електроніки, нових матеріалів і використання сучасних методів комп'ютерного моделювання завдань електродинаміки і аеродинаміки.

1.7 Призначення та класифікація вітроенергетичних установок

У загальному випадку, вітроенергетична установка (ВЕУ) - це сукупність взаємопов'язаного обладнання та конструкцій, призначених для перетворення вітрової енергії в інші види енергії (електричну, механічну, теплову і т.д.) і включають в себе вітрову турбіну і вітротурбіну.

Вітроенергетична установка, будучи основною частиною вітроустановки, складається з вітроустановки, системи передачі вітрової енергії навантаженні (споживачеві) і самого споживача вітрової енергії (будь-який пристрій: електромашина-генератор, водяний насос, нагрівач і т.д.).

Вітротурбіна - це пристрій для перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію робочого руху вітротурбіни. Робочі руху вітряної турбіни можуть бути різними. На існуючих на сьогоднішній день вітротурбін в якості робочого руху використовується круговий обертальний рух. Однак існують численні пропозиції (іноді навіть реалізовані) по використанню інших видів праці, наприклад, осцилюючіми.

З огляду на очевидні переваги електроенергії з точки зору її виробництва, передачі, розподілу та перетворення, переважає розробка і розподіл вітряних турбін. Сучасні вітряні турбіни (в зарубіжній літературі їх називають вітряними турбінами) представляють собою складну автоматизовану електромеханічну систему перетворення кінетичної енергії рухомих мас повітря (вітрового потоку) в електроенергію заданої якості. Світовий досвід використання вітряних турбін показав, що конструктивно вона повинна складатися з вітряної турбіни (ВД) 1, машинного залу 2, опори 3 (рисунок 1.12).

Вітротурбіна безпосередньо перетворює енергію вітрового потоку в механічну енергію, яка потім використовується для приводу різних механізмів і машин (наприклад, насосів) або перетвориться в електричну енергію. Вітряні турбіни, використовувані в якості приводу електрогенератора вітряних турбін, діляться на два основних типи:

- горизонтально-осьової, що характеризується колінеарну вектора кутової швидкості вітрової турбіни і осьової складової вектора швидкості вітру;
- вертикально-осьової, що характеризується ортогональних векторів кутової швидкості вітрової турбіни і осьової складової вектора швидкості вітру.

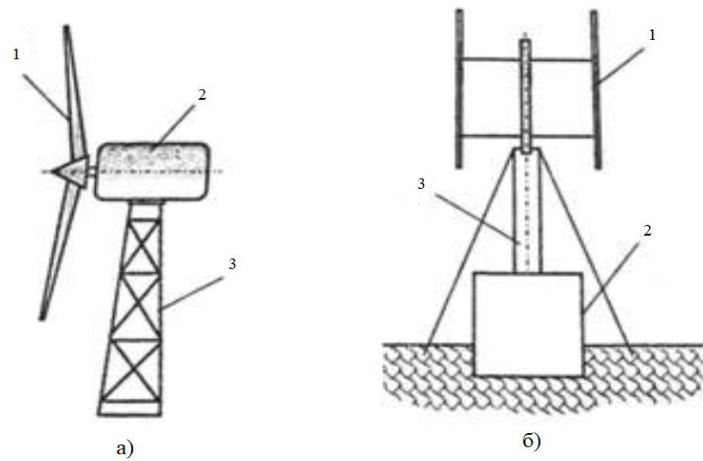


Рисунок 1.12 – Загальний вигляд вітроелектричної установки: а – з горизонтально-осьовим ротором; б – з вертикально-осьовим ротором

Вітряні турбіни класифікуються за такими характеристиками: вид виробленої енергії, рівень потужності, призначення, області застосування, особливості роботи при постійною або змінною швидкістю вітру, методи управління, тип системи передачі енергії вітру споживачеві.

Залежно від виду виробленої енергії вітряні турбіни діляться на вітроелектричні і вітро-механічні. Електричні вітряні турбіни, в свою чергу, діляться на вітряні, які виробляють електроенергію постійного або змінного струму. Механічні вітряні турбіни використовуються для приводу робочих машин.

Залежно від рівня потужності вітряних турбін, потужність вітряних турбін ділиться на чотири групи:

- дуже низька потужність, менше 5 кВт;
- низька потужність, від 5 до 100 кВт;
- середня потужність, від 100 до 1000 кВт;
- висока потужність, більше 1 МВт.

Вітротурбіни кожної групи відрізняються один від одного головним чином в конструкції, типі підстави, способі установки вітротурбіни, системі управління вітром, системі передачі енергії вітру, способі установки і способі обслуговування.

Залежно від призначення електричні вітряні турбіни постійного струму діляться на:

- вітрові зарядні пристрої;
- гарантоване електропостачання споживача;
- негарантоване електропостачання.

Електричні вітряні турбіни змінного струму діляться на:

- автономні;
- гібридні, що працюють паралельно з енергосистемою помірної потужності (наприклад, з дизельним агрегатом);
- мережа, що працює паралельно з потужною енергосистемою.

Механічні вітряні турбіни за призначенням поділяються на:

- вітрові насоси для приводу водяних насосів;
- вітроенергетика для роботи з промисловими і побутовими механізмами.

Класифікація вітряних турбін по областях застосування визначається їх призначенням. При розрахунку і проектуванні вітрової турбіни і виборі її номінальних параметрів необхідно враховувати:

- тип навантаження (електрогенератор, водяний насос і т.д.);
- тип системи передачі електроенергії від вітру до споживача;
- тип системи вироблення і зберігання електроенергії.

Як правило, вітроенергетичні установки складаються з наступних функціональних частин:

- первинний перетворювач;
- електрогенератор;
- допоміжне-поворотний пристрій;
- системи управління вітровими турбінами.

Горизонтально-осьові вітряні турбіни середньої і високої потужності можуть мати механізм регулювання кута установки лопатей ротора і механізм орієнтації вітряної турбіни.

Відповідно до іншої головної особливості, відповідно до принципу силового аеродинамічного взаємодії лопатевої системи вітрової турбіни з потоком повітря, що спрямовується на неї, вітрові турбіни можна розділити на два типи:

- вітротурбіни, які використовують під час руху системи лопаток підйомну силу, яка виникає на робочих елементах системи лопаток (жорсткі лопатки, що обертаються циліндри) і створює цілий крутний момент;

- вітрові турбіни, які використовують при переміщенні лопатевої системи різницю в аеродинамічних силах, що виникають на різних елементах лопатевої системи (лопатки крила або будь-які інші поверхні), в момент переміщення цих поверхонь в напрямку вітру і проти напрямку вітру, тобто різницю в аеродинамічному опорі, що виникає на елементах лопатевої системи.

Незважаючи на різноманіття теоретично можливих і практично реалізованих схем ВЕУ, сучасні вітроагрегати незалежно від рівня потужності є або пропелерними горизонтально-осьовими, або ортогональними вертикально-осьовими вітродвигунами (використовують підйомну силу на лопатях), оскільки саме ці два типи вітродвигуна мають найбільш високі техніко-економічні показники.

Горизонтально-осьові вітродвигуни в порівнянні з вертикально-осьовими мають наступні переваги:

- можливість самостійного пуску без допоміжного приводу за рахунок зміни кута установки лопатей;
- більшого значення коефіцієнта використання енергії вітру;
- більшого значення коефіцієнта швидкохідності X_i , як наслідок цього, велику частоту обертання вітродвигуна, що дозволяє зменшити масогабаритні показники електромеханічного обладнання;
- виключення необхідності в кутовій передачі обертального моменту.

До основного недопіку пропелерних горизонтально-осьових двигунів слід віднести необхідність в пристрої орієнтації на напрямок вітру.

Ортогональні вертикально-осьові двигуни в порівнянні з пропелерними горизонтально-осьовими володіють такими перевагами:

- незалежністю функціонування від напрямку вітрового потоку, що усуває необхідність орієнтування вітродвигуна на цей напрямок;
- вертикальним валом, що дозволяє розмішувати електромеханічне обладнання біля основи ВЕУ, що знижує вимоги до міцності і жорсткості опори, не обмежує масогабаритні показники обладнання, спрощує технічне обслуговування та ремонт;
- можливістю кріплення лопатей до ротора в декількох місцях, що знижує вимоги по міцності і жорсткості лопаті;
- меншим значенням окружної швидкості лопаті за менших значень коефіцієнта швидкохідності;
- відносною простотою виготовлення лопатей.

До числа недоліків вертикально-осьових вітродвигунів слід віднести:

- менший коефіцієнт використання енергії вітру;
- меншу швидкохідність.

1.8 Вітроенергетика в Україні

Слід зазначити, що з точки зору перспектив розвитку енергетичного сектора України дотримується світових тенденцій, спрямованих на розробку і реалізацію програм енергозбереження, підвищення енергоефективності та скорочення використання традиційних видів палива, прискорення розвитку енергетики, використання поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і збільшення їх складової в загальному енергобалансі країни. Розробляючи стратегічні програми розвитку енергетики, включаючи можливість переходу до "низьковуглецевої" економіки, уряд прагне створити сприятливий інвестиційний клімат для компаній, що працюють в області розвитку

альтернативної енергетики, з метою залучення потенційних вітчизняних та іноземних інвесторів.

Світовий досвід показує, що вітроенергетика найбільш ефективно використовується в морських і прибережних районах, а також в гірських і важкодоступних районах. З цієї точки зору територія України має відповідні географічні характеристики і значна кількість перспективних напрямків для вітроенергетики. Значні території, прилеглі до Чорного і Азовського морів, а також Карпатська, Західно-Кримська і Східно-Кримська області мають найбільший вітровий потенціал. Крім того, є райони з високим вітровим потенціалом в Донбасі і Дніпропетровській області. З реалізацією проектів з будівництва та введення в експлуатацію вітропарків у всіх цих областях можна було б забезпечити близько 30% потреб України в електроенергії.

Вітроенергетичний потенціал різних регіонів України визначається національним кадастром вітроенергетики, який включає в себе показники швидкості вітру (річні і середньомісячні), за рахунок результатів багаторічних наукових спостережень, повторення швидкості вітру протягом року, місяця, дня і т.п. Середньорічна швидкість вітру в при поверхневому шарі на території України досить низька - 4,3 м / с. Більшість вітряних турбін починають виробляти промислову електроенергію, починаючи зі швидкості вітру 5 м / с. Якщо врахувати, що вони можуть використовувати енергію вітру на висоті до 50 м (на деякій висоті від поверхні швидкість вітру збільшується), то енергетичний потенціал України складає величезні 330 млрд. КВт і перевищує встановлену потужність українських електростанцій в 6 тис. Разів. Звичайно, ніхто не замислюється про можливість її повного використання, але все ж ця величина вражає. Хоча, слід зазначити, що це приблизні розрахункові дані, оскільки прямі вимірювання швидкості вітру на висотах вище щогли флюгера поодинокі.

У міру зменшення впливу теплих і вологих атлантичних повітряних мас, що надходять на територію України з північного заходу, збільшується континентальність клімату, що створює сприятливі умови для розвитку вітроенергетики. На величину вітроенергетичного потенціалу південних і південно-східних територій (рисунк 1.13) впливає також інтенсивний рух повітряних мас з Чорного і Азовського морів, а крім того - формування локальних вітрів - в прибережній зоні морів. Окремо слід розглядати гірські території України, для яких характерні великі швидкості вітру.



Рисунок 1.13 – Потенціал вітрової енергії на території України

Нині в Україні спостерігається бурхливий розвиток вітроенергетичної галузі, обумовлений, передусім, введенням різних пільг для «девелоперів» альтернативної енергетики, а також прийняттям т.з. «зелених» тарифів на електроенергію, отриману з використанням ВДЕ, які є одними з найвищих в Європі.

Нині на енергетичному ринку України працює велика кількість українських і іноземних компаній, що реалізують великі і менш масштабні інвестиційні проекти в різних вітроенергетичних перспективних районах країни.

Що стосується технічного оснащення галузі, то треба сказати, що на українському ринку вітроагрегатів окрім установок вітчизняного виробництва, широко представлено устаткування провідних китайських і європейських виробників. Проте, за даними Української вітроенергетичної асоціації, близько 50% усього продажу вітроагрегатів припадає на частку вітчизняного виробника. Фахівці відмічають, що окрім цінової переваги, українське устаткування показало надійну роботу в складних кліматичних умовах. При проектуванні вітроустановок українські розробники максимально врахували особливості місцевого клімату і вірогідні критичні навантаження: можливість обмерзання, різкі пориви і часту зміну напрямів вітру. Нині, завдяки оптимальному поєднанню ціни і якості, вітроагрегати українського виробництва визнаються багатьма експертами кращими у своєму сегменті ринку і мають великий попит в Німеччині, Угорщині, Португалії, Польщі, Казахстані, Білорусії, Франції, країнах Балтії. Наявність власного виробника конкурентоздатного і надійного устаткування, служить хорошою передумовою для успішного розвитку малої вітроенергетики в Україні.

За даними на 2019 рік Україна увійшла до п'ятірки європейських країн, на території яких встановлені потужні вітрові електростанції. Мова переважно йде про великі промислові об'єкти.

1.9 Методи отримання водню, їх переваги та недоліки

Водень виробляється і використовується в промислових цілях більше ста років. Із загального світового виробництва водню приблизно 45 млн. тонн, понад 90% надходить з викопної сировини. Найбільшими виробниками водню є добрива та нафтова промисловість.

Продаж водню щорічно збільшувався на 6% за останні п'ять років. Це тісно пов'язано із збільшенням використання водню на нафтопереробних заводах, що є результатом суворих вимог до якості палива.

Водень використовується деінде в багатьох інших переробних галузях та лабораторіях, а стиснений водень можна придбати в більшості роздрібних магазинів газу.

Водень можна отримувати з безлічі різних вуглеводнів за допомогою різних методів. Якщо водень виробляється з вугілля, нафти або природного газу, побічні продукти негативно вплинуть на навколишнє середовище, якщо з ними не поводитимуться екологічно відповідально.

Існує багато способів отримання водню. Далі описуються деякі найпоширеніші методи отримання водню:

- **Фізичні методи:**

1. Глибоке охолодження коксового газу;
2. Низькотемпературна конденсація та фракціонування (при тиску 4МПа, температурі 115К) – вилучення водню з суміші до 93%;
3. Адсорбційне виділення – даний спосіб базується на використанні молекулярних сит. При циклічній роботі адсорбера даний процес може проводитися при тисках 3-3,5МПа, ступінь вилучення 80-85%;
4. Адсорбційне виділення водню за допомогою рідких розчинників - даний метод дозволяє отримувати водень з чистотою 99,9%, відсоток вилучення складає 80-90%.

- **Хімічні методи:**

1. Лабораторні методи (недоліками лабораторних методів отримання водню є неможливість масштабування процесів в промислових масштабах і неможливість забезпечити чистоту отриманого водню, яка залежить від чистоти компонентів, які беруть участь в процесі одержання):

- Реакції відновлення (зберігання) – взаємодія лужних і лужно-земельних металів з водою;
- Взаємодія амфотерних металів з водою в лужному середовищі;
- Взаємодія гідридів металів з водою;
- Взаємодія активних металів, що знаходяться в ряду окисновідновлюваних металів до водню, з розведеними кислотами неокисниками.

2. Електрохімічні методи.

Переваги електрохімічних методів:

- Одержаний водень має чистоту 99,9%;
- Простота технологічного процесу та його неперервність, що дозволяє автоматизувати процес;
- Можливість одержання паралельно з воднем кисню та важкої води;
- Загальнодоступність сировини;
- Гнучкість процесу, що дозволяє проводити електроліз безпосередньо під тиском;
- Можливість фізичного розділення водню і кисню безпосередньо в процесі електролізу.

Недоліки електрохімічних методів: дорогі в використанні.

• Промислові методи:

1. Конверсійний метод отримання водню, який базується на забезпеченні коксового вугілля водяною парою (синтез газ), а утворену при цьому суміш водню з оксидом вуглецю в подальшому обробляють водяною парою і пропускають через карбонат калію;
2. Конверсія метану — реакція базується на каталітичній реакції водяної пари з метаном;

3. Одержання водню з природного газу – реакція перебігає при 800-900 градусів за Цельсієм, в якості реагентів використовується суміш водяної пари і кисню з природним газом. Даний метод одержання водню є найбільш поширеним, оскільки є найбільш дешевшим з розглянутих;
4. Термічне розкладання метану;
5. Крекінг вуглеводнів (термічне розкладання) — найпоширеній вуглеводень, який використовується для даного методу – етан;
6. Відновлення водяної пари металами, що стоять в окисно-відновному ряду до водню.

Переваги промислових методів:

- Дешевизна одержаного водню;
- Одержання паралельно з воднем інших продуктів.

Недоліки промислових методів: одержання водню досить низької чистоти в залежності від методу (від 70 - 80%).

1.10 Методи зберігання та транспортування водню

При широкому застосовуванні водню, основною проблемою стає його зберігання. Наприклад, в транспортних засобах повинна бути можливість зберігати достатню кількість водню, щоб забезпечити таку ж відстань проїзду, як і сучасні машини.

В енергетичному секторі найбільш важливою є здатність ефективно, швидко та недорого зберігати водень.

Існують такі способи зберігання водню:

- **Фізичний методи** (водень не взаємодіє з середовищем зберігання):
 1. Зберігання в газових балонах;
 2. Зберігання в стаціонарних масивах, включаючи підземні сховища;
 3. Зберігання в трубопроводах;

4. Зберігання в скляних мікросферах;
5. У випадку з рідким воднем:
 - Стаціонарні системи;
 - Транспортні криогенні контейнери.

- **Хімічні методи:**

1. Адсорбційний. Адсорбційний водень може зберігатись в:
 - Цеолітах або споріднених матеріалах;
 - Активованому вугіллі;
 - Вуглецевих нано-матеріалах.
2. Абсорбційний. Абсорбційний водень може зберігатись в об'ємі матеріалу (метало-гідриди).
3. Хімічна взаємодія з середовищем. Для хімічного зберігання використовують наступні матеріали:
 - Алюмо-гідриди;
 - Фулурени;
 - Органічні гідриди;
 - Аміак;
 - Губчате залізо;
 - Водно-реагуючі сплави на основі алюмінію і кремнію.

- **Наземне зберігання** (контейнери, найпоширеніший матеріал – сталь);

- **Підземне зберігання газоподібного водню:**

1. Сольові печери;
2. Природні печери;
3. Печери структур водоносного шару.

- **Рідкий водень** - найчастіше використовують як паливо в космічній галузі. Водень в рідкому стані знаходиться при температурі 20,25 К, тому такі системи потребують складних методів ізоляції для попередження випаровування водню.

1.11 Висновок

Україна володіє достатньо високим потенціалом сонячної енергії, що дозволяє впроваджувати тепло- та фотоенергетичне обладнання практично по всій території України. Фотоелектричні напівпровідникові елементи, які напряду перетворюють енергію Сонця в електроенергію, набувають все більшої популярності. Також в Україні достатньо сприятливі умови для використання вітрової енергії.

Проте, вироблення таким способом електроенергії не є стабільним, адже залежить від погодних умов. Тому можна використовувати комбіновані системи, завдяки яким можна вирівнювати графіки навантаження. Однією з таких систем є сонячно-вітрова електростанція з акумулюванням водню.

Головні задачі, які необхідно вирішити для розробки комплексної сонячно – вітрової системи з водневим акумулюванням енергії:

- 1) Проаналізувати існуючі уявлення про технології виробництва водню та оцінити енергетичну ефективність електролізних технологій.
- 2) Проаналізувати особливості реалізації комплексних вітро - сонячних систем.
- 3) Оцінити потенційно можливий виробіток ФЕУ та ВЕУ, та встановити енергетичні умови здійснення процесу електролізу.
- 4) Вибрати, на основі аналізу технічних характеристик, основне та допоміжне обладнання і устаткування для реалізації системи.
- 5) Розробити стартап проект комплексної сонячно – вітрової системи з водневим акумулюванням енергії.

РОЗДІЛ 2
РОЗРАХУНОК КОМПЛЕКСНОЇ СОНЯЧНО – ВІТРОВОЇ СИСТЕМИ З
ВОДНЕВИМ АКУМУЛЮВАННЯМ ЕНЕРГІЇ

2.1 Аналіз вітроенергетичного потенціалу майданчика будівництва ВЕС за заданою місцевою потужністю 6,47 МВт

2.1.1 Опис майданчика. Клімат місцевості

Земельна ділянка для будівництва ВЕС потужністю 6,47 МВт знаходиться в Дніпропетровській області, неподалік с. Покровське. Фото ділянки з супутника зображено на рисунку 2.1, та на топографічній карті на рисунку 2.2. Середня висота над рівнем моря – 110 м. Ділянка для будівництва складається з ділянок, що знаходяться у власності держави та приватних паїв. Загальна площа ділянки – 145 га.



Рисунок 2.1 – Розміщення земельної ділянки на площині (вид з космосу)

Поверхня території являє собою рівнину (перепад висот не більше 3 метрів).



Рисунок 2.2 – Земельна ділянка на топографічній карті

Цільове призначення земельної ділянки – «Для ведення товарного сільськогосподарського виробництва».

Клімат — помірно-континентальний. Середньорічна кількість опадів — 490 мм, середньорічні температури липня $+28^{\circ}$, січня -4° (таблиця 2.1 та рисунок 2.3). Особливістю клімату є значні коливання погодних умов з року в рік. Помірно-вологі роки змінюються різко посушливими, а посушливість нерідко підсилюється суховіями. У цілому клімат характеризується відносно прохолодною зимою і жарким літом, максимальні температури повітря, зафіксовані у липні-серпні сягають $+40^{\circ}$, у січні-лютому — $-37..38^{\circ}$.

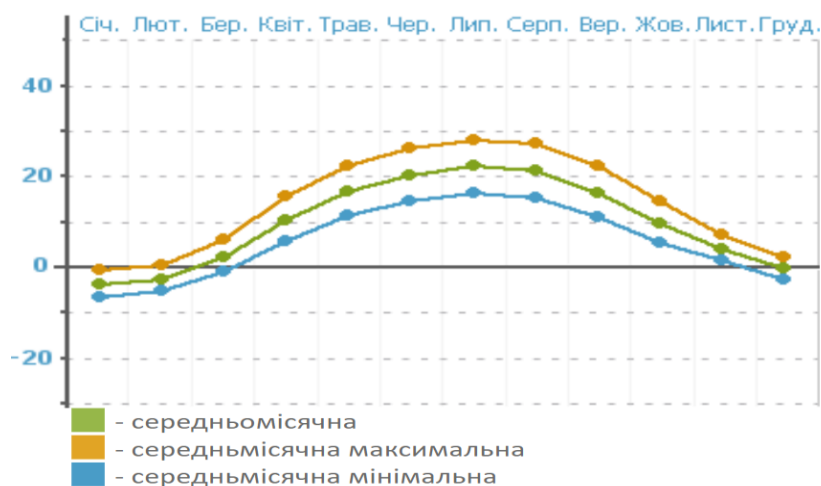


Рисунок 2.3 – Графік зміни середньо мінімальної, середньомісячної, середньо максимальної температури протягом року

Таблиця 2.1 – Температура повітря протягом року

	Середня місячна і річна температура повітря (°C)											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Середньомісячна	-4	-2,5	2,5	11,5	16,5	21,0	28,0	21,5	16,5	10	4,5	0,5
Середньомісячна максимальна	-1	0	6	16	22	27	29	28	22	15	8	2
Середньомісячна мінімальна	-7	-5	-1	7	11	15	17	15	11	5	1	-1

2.1.2 Моніторинг швидкості вітру

Ділянка має низький кліматичний потенціал вітрової енергії, дані за останні роки наведені в таблиці 2.2 та на рисунку 2.4.

Таблиця 2.2 – Середня місячна і максимальна швидкість вітру

	Швидкість вітру (м/с)											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Середня	3,8	4,2	3,7	3,6	3,2	2,8	2,7	2,6	2,8	3,2	3,4	3,6
Максимальна	26	26	25	27	20	24	24	33	20	28	25	24

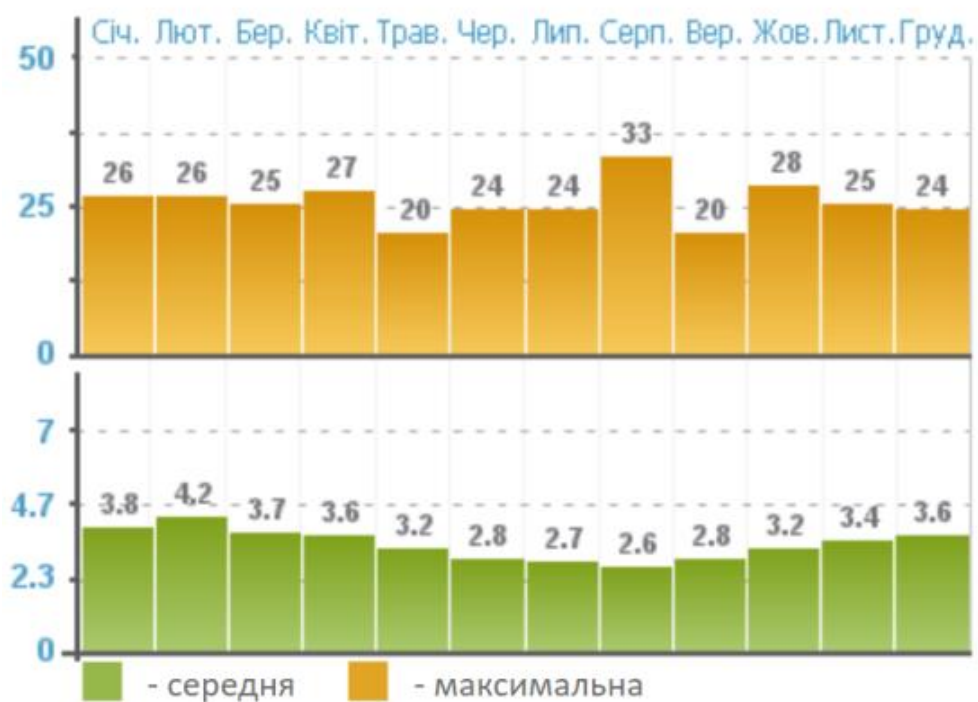


Рисунок 2.4 – Середньомісячна та максимальна швидкість вітру

2.2 Вибір та обґрунтування типів та параметрів вітроенергетичного обладнання

2.2.1 Одинична номінальна потужність ВЕУ

Загальна потужність ВЕС складає 3,45 МВт. Враховуючи це та площу майданчика виділеного для будівництва даної ВЕС пропонується використовувати ВЕУ потужністю 2-5 МВт, а саме: 1 вітроустановку на 3,45 МВт. У складних логістичних умовах їхні оптимальні масо-габаритні показники роблять доставку більш простою, ніж для ВЕУ понад 5 МВт.

2.2.2 Визначення класу ВЕУ

Для визначення класу ВЕУ необхідно проаналізувати дані про максимальну швидкість вітру та значення турбулентності вітру за останні 20 років на висоті гондоли ВЕУ. Дані про найбільші значення вітру з зазначеною імовірністю в роках на висоті флюгера та перераховані значення для швидкості вітру на висоті гондоли наведені в таблиці 2.3.

Відповідно до швидкості вітру на території необхідно визначити клас вітроустановки. Дані щодо класів ВЕУ представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Максимальна швидкість вітру по роках

Максимальна швидкість (м/с) на висоті, м. (Нікопольський метіопост)	1 рік	5 років	10 років	15 років	20 років
12 метрів	20	24	25	26	27
112 метрів	27,6	33,2	34,5	35,9	37,3

Таблиця 2.4 - Класифікація ВЕУ по стандарту IEC 642000-1

Клас ВЕУ	I	II	III	S
V_{екстр}, м/с	50	42,5	37,5	Спеціальний клас
A (висока турбулентність)	0,16	0,16	0,16	
B (помірна турбулентність)	0,14	0,14	0,14	
C (низька турбулентність)	0,12	0,12	0,12	

Для того, щоб обрати клас ВЕУ, необхідно розрахувати максимальну швидкість вітру на висоті ротора вітроагрегату. Для перерахунку швидкості вітру скористаємось формулою Д.Т. Лайхтмана (2.1):

$$V = V_p \cdot \frac{\lg(\frac{h}{h_0})}{\lg(\frac{h_1}{h_0})} \quad (2.1)$$

Де h – шукана висота, м.;

h_0 – висота, на якій відсутній вітер;

h_1 – висота флюгера, м.;

V_p – швидкість вітру на висоті флюгера, м/с.

Згідно таблиці 2.3, максимальна швидкість вітру за останні 20 років вимірювань складає 27 м/с, враховуючи шорсткість поверхні приймемо висоту, на якій відсутній вітер, рівну 6 см.:

$$V = 27 \cdot \frac{\lg\left(\frac{112}{0,06}\right)}{\lg\left(\frac{14}{0,06}\right)} = 37,3 \text{ (м/с)}$$

Отже, для обраної ділянки максимальна швидкість може сягати 37,3 м/с. Турбулентність вітру за довідниковими даними становить 16%.

Відповідно до таблиці 2.4 та враховуючи отримані дані, необхідно вибрати клас ВЕУ ІІА.

2.2.3 Допустимі температурні діапазони

Для вибору ВЕУ необхідно врахувати інформацію про допустимий температурний діапазон робочих температур, при яких дана ВЕУ може експлуатуватися. Мінімальна середньодобова температура для обраного майданчика -7°C (в січні), максимальна $+29^{\circ}\text{C}$ (в липні).

2.2.4 Аналіз ринку вітроенергетичного обладнання

Вибір вітроенергетичного обладнання здійснюється на основі порівняння моделей двох міжнародних компаній-виробників: Vestas та Siemens Gamesa. Для порівняння обрано саме ці дві компанії, оскільки вони найпотужніші компанії на європейському континенті, мають дуже гарну репутацію, виконують будівництво "під ключ", а також мають зручне розташування для транспортування обладнання ВЕС.

Vestas – велика компанія, яка знаходиться в Данії. На даний момент встановлено більше 179 ГВт потужностей, з них 82 ГВт постійно обслуговуються компанією. Компанія заснована в 1898 році. У 1928 року вона почала виробництво металевих вікон для промислових будівель. У 1932 році стала відкритим акціонерним товариством. У 1945 році компанія VEstjysk STaaltechnik A/S (скорочено Vestas) почала виробництво побутових виробів з металу: міксери, контейнери і т.д. З 1950 року компанія виробляє сільськогосподарську техніку. У 1978 року фахівці Vestas починають розробляти вітряну турбіну. Свою першу вітряну турбіну компанія встановила 1979 року. У 1980 році Vestas почала серійне виробництво турбін потужністю 55 кВт. У 1983 році відкрито відділення компанії в США, Vestas North America, Ltd. До кінця 1985 року Vestas продала в США 2500 турбін.

Наприкінці 1986 року створено компанія Vestas Wind Systems A/S. 1995 рік, яка будує офшорний вітрогенератор. 2000 року Vestas зайняла 32% світового ринку вітрогенераторів. В цьому році компанія продала +1434 МВт

вітрогенераторів, тоді як світовий ринок склав 4500 МВт. 2002 рік - Vestas встановлює прототип своєї турбіни потужністю 3 МВт. 2003 рік - частка Vestas на світовому ринку вітрогенераторів складає 23%. У 2009 році частка компанії на світовому ринку становила 12,5%. У червні 2010 року компанія почала розробку фундаментів для офшорних вітряних турбін, які будуть будуватися на ділянках моря глибиною до 70 метрів. У 2010 році вона займала перше місце в світі за сумарною потужністю, виробленого за рік обладнання - 5842 МВт. У 2017 році Vestas встановила біля берегів Великобританії вітрогенератор потужністю в 9,5МВт, яка на поточний момент є найпотужнішим вітрогенератором в світі.

Siemens Gamesa – компанія яка утворилася з двох компаній: Siemens Wind Power та Gamesa у квітні 2017 року. Компанія знаходиться в Іспанії. На даний момент встановлено більше 88,8 ГВт потужностей, які постійно обслуговуються компанією. Gamesa розпочала свою діяльність в 1976 році, орієнтуючись на те, що розвиваються нові технології та застосовують їх до нових видів діяльності. До них відносяться робототехніка, мікроелектроніка, аеронавтика та розробка композиційних матеріалів. У 1994 році компанія Gamesa Eólica була створена як дочірня компанія, що спеціалізується на виробництві вітрових турбін. У 1995 році компанія почала займатися розробкою, будівництвом та експлуатацією вітрових електростанцій, а наступного року завершила свою першу вітроелектростанцію. Gamesa мала 7- річне партнерство з Vestas, яке закінчилося в 2002 році. З 2006 року компанія зосередила свою увагу на технологіях, пов'язаних із стійкою енергетикою, головним чином енергією вітру. Він позбавив своїх інтересів у сфері авіації, які продавалися, щоб створити нову компанію, відома як Aernnova, а також послуги, які були продані для створення нової компанії, відома як Global Energy Services.

У рамках переходу Сполученого Королівства на розширення своєї продукції по виробництву офшорної енергії вітру, Gamesa зобов'язалася витратити 133,7 млн. Фунтів стерлінгів на виробничій фабриці та інших

об'єктах у Великій Британії, а також перевела штаб офшорного підрозділу у Лондон. 17 липня 2016 року Siemens AG та Gamesa оголосили, що повинні об'єднати вітрові електростанції, при цьому дві операції складають 59% (Siemens Wind) і 41% (Gamesa) від акцій, що виникають у компанії, причому Siemens пропонує 3,75 євро на акцію іграшки. Моделі вітрогенераторів обрано на основі аналізу вітрового потенціалу, а також температурних перепадів та класу потужності, які наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз моделей вітроенергетичного обладнання

Виробник	Siemens Gamesa	Vestas
Модель	SG 3.4 - 132	V136 - 3.45
Номінальна потужність, кВт	3465	3450
Мінімальна робоча швидкість вітру, м/с	4.0	3.0
Номінальна швидкість вітру, м/с	12.5	10.5
Максимальна робоча швидкість вітру, м/с	25.0	22.5
Діаметр ротора, м	132.0	136.0
Висота опори, м	134	112.0
Стандартний діапазон робочих температур	від -30 °C до +40 °C	від -30 °C до +45 °C
Мінімальна робоча температура	-20°C	-30°C
Клас ВЕУ	ІЕС ІІВ	ІЕС ІІА

Для будівництва ВЕС обрано ВЕУ Vestas V136-3.45 з класом ІЕС ІІА, оскільки майже при однаковій потужності за більшістю характеристик вона краще, ніж Siemens Gamesa

2.3 Розробка компоновки ВЕС

Встановлена потужність ВЕС складає 3,45 МВт, номінальна потужність однієї ВЕУ – 3,45 МВт, кількість ВЕУ на майданчику складає 3 шт. Загальна площа земельної ділянки складає 1,45 км² (145 га.). Для уникнення аеродинамічного затінення, в майбутньому необхідно буде дотримуватися умови, щоб відстань між ВЕУ була не менше 6 діаметрів ротора. Оскільки діаметр ротора складає 136 м, то мінімальна допустима відстань між ВЕУ становитиме 672 м. На рисунку 2.5 зображено план розміщення ВЕУ на обраній земельній ділянці. Розташування ВЕУ та висоту над рівнем моря вказано в таблиці 2.6.



Масштаб 1:20000

Рисунок 2.5 – План розміщення ВЕУ

Таблиця 2.6 – Розташування ВЕУ

ВЕУ	Координати		Висота над рівнем моря, м
	Східна довгота	Північна широта	
ВЕУ	34°19'18.2"	47°55'28.6"	111

При виборі майданчику для будівництва ВЕС та розміщення ВЕУ було дотримано всіх необхідних вимог:

- ВЕС має розміщуватись неподалік від існуючих доріг;
- Відстань між ВЕУ має бути не менше 6 діаметрів ротора;
- Шум від роботи ВЕУ має бути мінімальним;
- Відстань до об'єктів має бути не менше 300 м;

- Відстань від існуючих автомагістралей і ЛЕП має бути не менше 150 м.

2.4 Оцінка річного виробітку енергії

Прибуток від роботи ВЕС напряму залежить від кількості виробленої електроенергії за рік. Отже, необхідно провести загальний розрахунок виробітку електроенергії ВЕС за рік, враховуючи можливі втрати енергії.

2.4.1 Розрахунок загального виробітку електроенергії за рік

Для розрахунку загального виробітку електроенергії ВЕС за рік необхідно врахувати вірогідність появи певного значення швидкості вітру протягом року. Дані вірогідності для заданої місцевості показані в таблиці 2.7

Таблиця 2.7 – Вірогідність появи швидкості вітру на висоті флюгера у градаціях (у % від загальної кількості випадків)

Швидкість на висоті флюгера, м/с	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20
Вірогідність вітру, %	24,0	30,6	23,2	11,7	5,2	2,1	1,8	0,7	0,6	0,1

Розрахунок виробітку електроенергії здійснюється за допомогою формули 2.2.

$$E_j = 0.63 \frac{\pi D_{\text{рот}}^2}{4} v_j^3 \tau_j \eta \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

де D – діаметр ротора ВЕУ, м;

0,63 – потужність вітрового потоку;

v_j – швидкість вітру на висоті гондоли, м/с;

η – коефіцієнт потужності ВЕУ ;

τ_j – час роботи ВЕУ з врахуванням вірогідності появи швидкості вітру (формула 2.3).

$$\tau_j = 8760 \frac{i}{100}, \quad (2.3)$$

де i – вірогідність появи швидкості вітру; 8760 – кількість годин в році.

Розрахунок виробітку електроенергії однією ВЕУ показано в таблиці 2.8. При розрахунку необхідно врахувати діапазон робочих швидкостей вибраного вітрогенератора Vestas V136 - 3.45.

Сумарний річний виробіток електроенергії ВЕС обраховується за формулою 2.4:

$$E_{BEC} = n \cdot E_{BEU}, \quad (2.4)$$

Де n – кількість ВЕУ.

Отже, сумарний виробіток ВЕС буде рівним 10 828,69 МВт·год в рік.

Втрати електроенергії станцією пов'язані простоем ВЕУ через ТО та ремонти, втрати в трансформаторах, кабелях і точках з'єднань, налипанням мушок та пилу на лопаті, несправностями в електричній мережі. Втрати, описані у відсотках, наведені в таблиці 2.9.

Реальний річний виробіток електроенергії з врахуванням втрат:

$$E_p = E_{BEC} - W_{втр} = 10\,828,69 - 1\,180,33 = 9\,648,36 \text{ МВт} \cdot \text{год/рік},$$

де E_{BEC} – сумарний річний виробіток електроенергії ВЕС;

$W_{втр}$ – сумарні втрати електроенергії у ВЕС.

Таблиця 2.8 – Виробіток електроенергії однією ВЕУ

Рік	Швидкість вітру на висоті флюгера, м/с								Сумарний виробіток, МВт·год
	3	4	6	8	10	12	14	16	
	Швидкість вітру на висоті гондоли, м/с								
	4,14	5,53	8,29	11,05	13,81	16,58	19,34	22,10	
Імовірність, %	30,6	23,2	11,7	5,2	2,1	1,8	0,7	0,6	10828,69
Час роботи ВЕУ, год	2680,56	2032,32	1024,92	455,52	183,96	157,68	61,32	52,56	
Виробіток, кВт·год	523521,5	940843,2	1601360	1687029	1330665	1970904,3	1217115	1557257,7	

Таблиця 2.9 – Втрати електроенергії у ВЕС

№	Витрати	Відсоток	МВт·год
1	З технічної готовності	5	541,43
2	Електричні	2,5	270,72
3	Втрати пов'язані зміною жорсткості лопаті	0,3	32,49
4	Втрати на гістерезис	0,1	10,83
5	Втрати при обмерзанні	2	216,53
6	Втрати при підключенні до мережі	1	108,29
	Всього	10,9	1 180,33

2.5 Основні вимоги будівництва ВЕС

Вимоги до фундаменту ВЕУ:

- статична міцність і стійкість;
- витривалість ;
- твердість.

Глибина закладання фундаменту залежить від:

- рельєф;
- гідрологічні умови місцевості;
- геотехнічні умови місцевості;
- глибина промерзання.

Впливи на фундамент можна класифікувати наступним чином:

1. Гравітаційні та інерційні навантаження в результаті вібрації, обертання, сейсмічної активності;
2. Аеродинамічні навантаження в результаті обтікання повітряного потоку рухомих і нерухомих частин ВЕУ;

3. Експлуатаційні навантаження в процесі роботи ВЕУ;
4. Інші види навантажень виникають при транспортуванні, монтажі, ремонті тощо.

Запропонований проект ВЕС відповідає наступним вимогам будівництва:

1. Максимальний виробіток електроенергії ;
2. Сприятливі умови будівництва ;
3. Мінімальний обсяг земельних робіт;
4. Мінімальні затрати на доставку і монтаж;
5. Мінімальний вплив на довкілля.

2.6 Вибір фотоелектричних перетворювачів для СЕС

Для доцільнішого використання площі було розглянуто декілька фотоелектричних модулів від різних виробників, серед яких: JAM60S03-320/PR від компанії JA Solar, LG320N1C-G4 від компанії LG та YingliYL320P-35b від компанії Yingli Solar.

Розглянемо перший фотоелектричний модуль - JAM60S03-320/PR з технологією PERC та Half-Cell конфігурацією компанії JA Solar, номінальна потужність 320Вт. Паспортні дані фотоелектричної панелі наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики JAM60S03-320/PR

Характеристика	Позначення	Величина
Електротехнічні характеристики		
Максимальна потужність, Вт	P_{max}	320
Напруга неробочого ходу, В	V_{oc}	40,22
Максимальна напруга, В	V_{max}	33,34
Струм короткого замкнення, А	I_{sc}	10,16
Максимальний струм, А	I_{max}	9,6
ККД фотомодуль, %	η	19,2

Продовження таблиці 2.10

Механічні характеристики		
Маса, кг	m	18,5
Довжина, мм	l	1678
Ширина, мм	b	991
Товщина, мм	h	35
Робочі умови		
Температурний режим, °C	-40 - +85	
Вітрові навантаження до, Па	2400	
Снігові навантаження до, Па	5400	

Перевагами цього перетворювача є його збільшена поглинаюча здатність (а отже і вищий ККД), менші втрати при частковому затіненні та більша стійкість до механічних пошкоджень й забруднень.

Наступним на розгляді є фотоелектричний модуль від відомого виробника LG - LG320N1C-G4 (таблиця 2.11).

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики LG320N1C-G4

Характеристика	Позначення	Величина
Електротехнічні характеристики		
Максимальна потужність, Вт	P_{\max}	320
Напруга неробочого ходу, В	V_{oc}	40,9
Максимальна напруга, В	V_{\max}	33,6
Струм короткого замкнення, А	I_{sc}	10,05
Максимальний струм, А	I_{\max}	9,53
ККД фотомодуль, %	η	19,5
Механічні характеристики		
Маса, кг	m	17
Довжина, мм	l	1640
Ширина, мм	b	1000

Товщина, мм	h	40
-------------	---	----

Продовження таблиці 2.11

Робочі умови	
Температурний режим, °C	-40 - +90
Вітрові навантаження до, Па	2400
Снігові навантаження до, Па	6500
Снігові навантаження до, Па	6500

Даний фотомодуль обладнаний спеціальною системою, суть якої полягає в використанні 12 струмовідних доріжок з заокругленою основою, яка дозволяє зменшити втрати електроенергії при нагріві фотоелемента. Сонячні промені, попадаючи на одну з доріжок, переломлюються та попадають на активну частину фотоелемента, на відміну від традиційних плоских доріжок, що відбивають сонячні промені, як дзеркало.

Останнім в списку, проте не за значенням являється фотоелектричний перетворювач YingliYL320P-35b від YingliSolar. Технічні характеристики приведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики YingliYL320P-35b

Характеристика	Позначення	Величина
Електротехнічні характеристики		
Максимальна потужність, Вт	P_{\max}	320
Напруга неробочого ходу, В	V_{oc}	46
Максимальна напруга, В	V_{\max}	37
Струм короткого замкнення, А	I_{sc}	9,18
Максимальний струм, А	I_{\max}	8,64
ККД фотомодуль, %	η	16,48
Механічні характеристики		
Маса, кг	m	22
Довжина, мм	l	1960
Ширина, мм	b	992

Товщина, мм	h	40
-------------	---	----

Продовження таблиці 2.12

Робочі умови	
Температурний режим, °C	-40 - +85
Вітрові навантаження до, Па	2400
Снігові навантаження до, Па	5400

YingliSolar уже довгий час знаходяться в Tier 1, а отже вони не тільки займаються виробленням фотоелектричних перетворювачів, а й науковими дослідженнями. Обраний фотомодуль виготовлений з 72 полікристалічних комірок стандартного розміру 156x156 мм. Кожен фотоелемент пронизаний 4 струмознімаючими доріжками, завдяки яким у батареї підвищується ККД, температурна стабільність та стійкість до мікротріщин.

Проаналізувавши дані, було обрано фотоелектричний перетворювач JAM60S03-320. Його зовнішній вигляд представлений на рисунку 2.6. Даний вибір був зроблений, спираючись на технології вироблення вибраного фотомодуля (PERC та Half Cell).

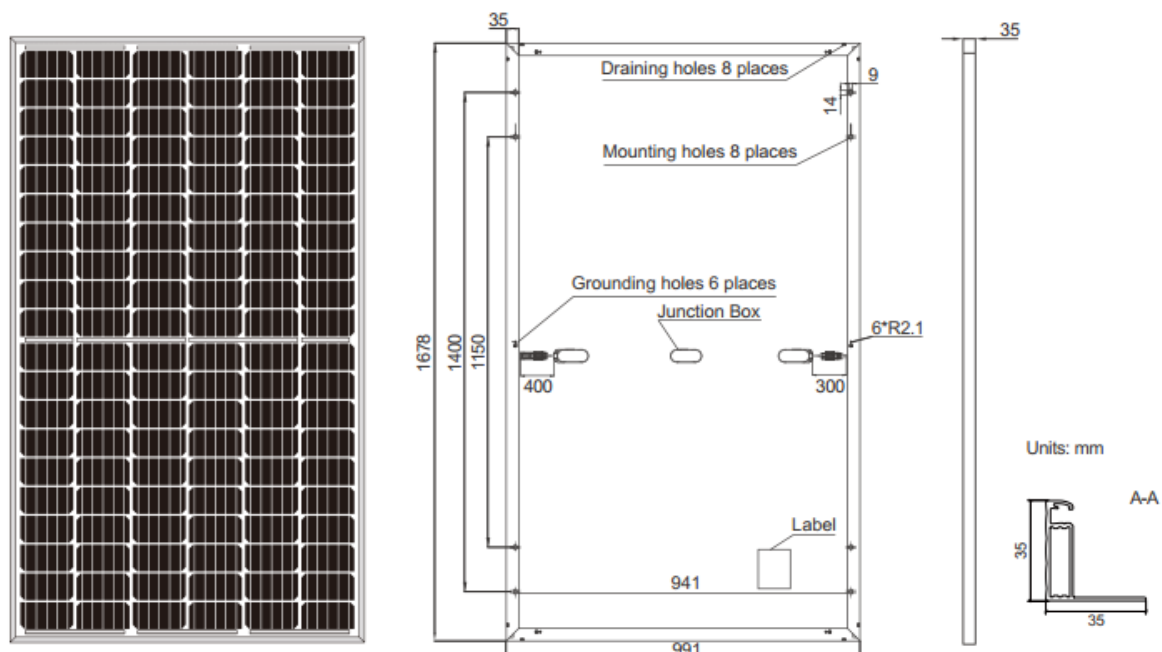
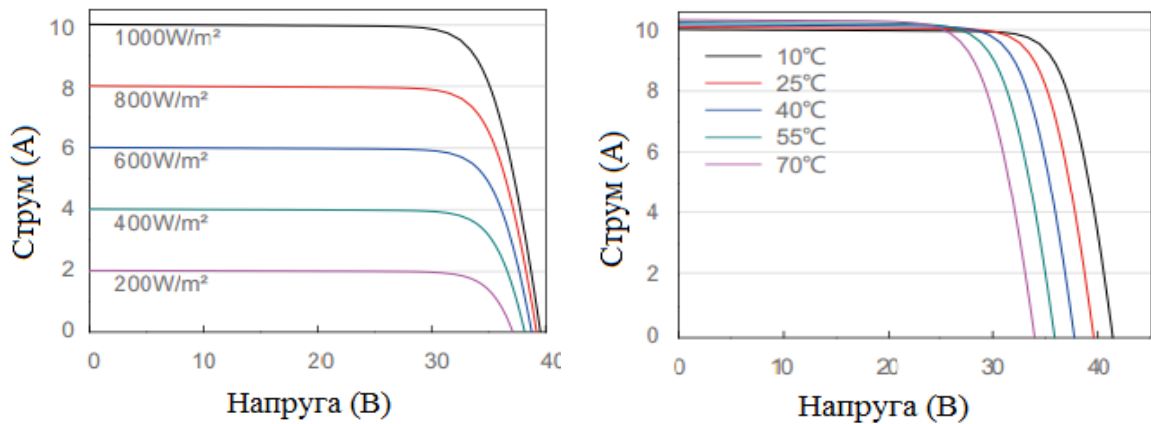


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд ФЕМ марки JAM60S03-320/PR

Для більш детального опису роботи кремнієвих фотоелектричних перетворювачів використовують графіки кривих - вольт-амперні



характеристики (ВАХ). Для обраної фотоелектричної панелі ВАХ представлені на рисунку 2.7.

Рисунок 2.7 – Графіки вольт-амперної характеристики для JAM60S03-320/PR при зміні сонячного випромінювання (а) та при зміні температури навколишнього середовища (б)

2.7 Розрахунок кута нахилу фотоелектричних модулів

На розгляд було взято такі кути нахилу фотоелектричних панелей: 15°, 30° та 45°.

Для проведення розрахунків необхідна інформація про прихід сонячної радіації на горизонтальну площину для місцевості, де розташована сонячна електростанція (таблиця 2.13) та про почасову зміну сонячного кута (таблиця 2.14).

Таблиця 2.13 – Інтенсивність сонячної радіації (кВт/м²)

Місяць	Тип радіації	Час					Альbedo, %
		6:30	9:30	12:30	15:30	18:30	
1	2	3	4	5	6	7	8
Січень	пряма	0	0,03	0,07	0,01	0	36
	дифузійна	0	0,1	0,18	0,06	0	
Лютий	пряма	0	0,08	0,15	0,04	0	38
	дифузійна	0	0,17	0,26	0,13	0	

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4	5	6	7	8
Березень	пряма	0,03	0,19	0,25	0,12	0	16
	дифузійна	0	0,25	0,3	0,19	0	
Квітень	пряма	0,11	0,32	0,39	0,2	0	15
	дифузійна	0,02	0,28	0,34	0,23	0,02	
Травень	пряма	0,3	0,45	0,49	0,32	0	21
	дифузійна	0,1	0,32	0,37	0,26	0,07	
Червень	пряма	0,46	0,54	0,62	0,32	0,03	21
	дифузійна	0,17	0,33	0,34	0,27	0,1	
Липень	пряма	0,49	0,61	0,62	0,39	0,03	18
	дифузійна	0,16	0,29	0,33	0,27	0,1	
Серпень	пряма	0,38	0,51	0,61	0,35	0,01	19
	дифузійна	0,09	0,23	0,29	0,19	0	
Вересень	пряма	0,11	0,43	0,46	0,22	0	19
	дифузійна	0	0,23	0,29	0,19	0	
Жовтень	пряма	0,11	0,21	0,28	0,09	0	18
	дифузійна	0	0,2	0,23	0,12	0	
Листопад	пряма	0	0,2	0,09	0,01	0	30
	дифузійна	0	0,12	0,16	0,05	0	
Грудень	пряма	0	0,12	0,05	0	0	20
	дифузійна	0	0,09	0,14	0,03	0	

Таблиця 2.14 – Градус сонячного кута в залежності від часу на 15 число кожного місяця

Місяць\Час	6:30	9:30	12:30	15:30	18:30
1	2	3	4	5	6
Січень	0	13,4	21,3	7,8	0

Лютий	0	20,4	20,8	15,4	0
-------	---	------	------	------	---

Продовження таблиці 2.14

1	2	3	4	5	6
Березень	2,5	30	40,4	23,6	0
Квітень	12,6	41,6	52,1	31,5	2,1
Травень	19,8	49,4	60,7	37,5	7,7
Червень	22,2	52,4	65,3	41,3	11,8
Липень	20	50,2	63,7	41,3	11,4
Серпень	14,8	44,3	56,2	35,8	6
Вересень	8,8	36,3	45,5	25,5	0
Жовтень	2	27,3	33,7	15,4	0
Листопад	0	18,3	23,9	7	0
Грудень	0	13	19,7	3,8	0

Для обчислення сонячної радіації необхідно знати кут схилення – кут між напрямком на Сонце і екваторіальною площиною. Зміна кута обраховується за формулою Купера (2.5):

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365} \right) \quad (2.5)$$

де n – порядковий номер доби в році.

Далі необхідно розрахувати коефіцієнти транспозиції (2.6) для перерахунку інтенсивності прямої і дифузної радіації :

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \Phi} , R_D = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (2.6)$$

де θ – кут між напрямком сонячного випромінювання та нормаллю до похилої поверхні, Φ – кут між напрямком сонячного випромінювання та нормаллю до горизонтальної поверхні, β – кут встановлення фотоелектричних модулів.

Кут θ розраховується за формулою (2.7):

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \alpha + \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos(z - z_s) \quad (2.7)$$

де α – висота сонця, z – азимут сонця, z_s – азимут проекції нормалі площадки на горизонтальну площину.

Інтенсивність випромінювання, що відбивається від поверхні ландшафту та попадає на похилу поверхню, обраховується як (2.8):

$$I_{Rt} = \frac{(1 - \cos \beta) \cdot p \cdot (I_B + I_D)}{2} \quad (2.8)$$

де p – коефіцієнт відбиття (альbedo).

Отже, сумарна радіація, що надходить до похилої поверхні буде рівною (2.9):

$$I_t = I_B \cdot R_B + I_D \cdot R_D + I_{Rt} \quad (2.9)$$

У даній роботі щодобова інсоляція розраховується на основі довідкових метеоданих, тому вона визначається як сума погодинних середніх значень інтенсивності радіації (2.10):

$$W_t = \Delta h \cdot \sum I_{(n,i)} \quad (2.10)$$

де Δh – інтервал між сусідніми вимірюваннями (відліками), $I_{(n,i)}$ – середнє значення радіації в n -ий день для i -го відліку.

Результати розрахунків, що проводились для кутів 15° , 30° та 45° представлені в таблиці 2.15 та зображені на рисунку 2.8.

Таблиця 2.15 –Добова інсоляція на 15-е число кожного місяця, кВт·год/м²

Місяць	Кут нахилу		
	15°	30°	45°
1	2	3	4
Січень	1,13	1,29	1,4
Лютий	1,99	2,26	2,46
Березень	3,21	3,49	3,63
Квітень	4,44	4,66	4,66
Травень	5,99	6,09	5,95
Червень	7,05	7,03	6,71
Липень	7,18	7,18	6,85

Серпень	6,04	6,28	6,22
Вересень	4,74	5,19	5,39

Продовження таблиці 2.15

Жовтень	2,01	1,94	1,81
Листопад	1,78	2,13	2,36
Грудень	1,26	1,54	1,76

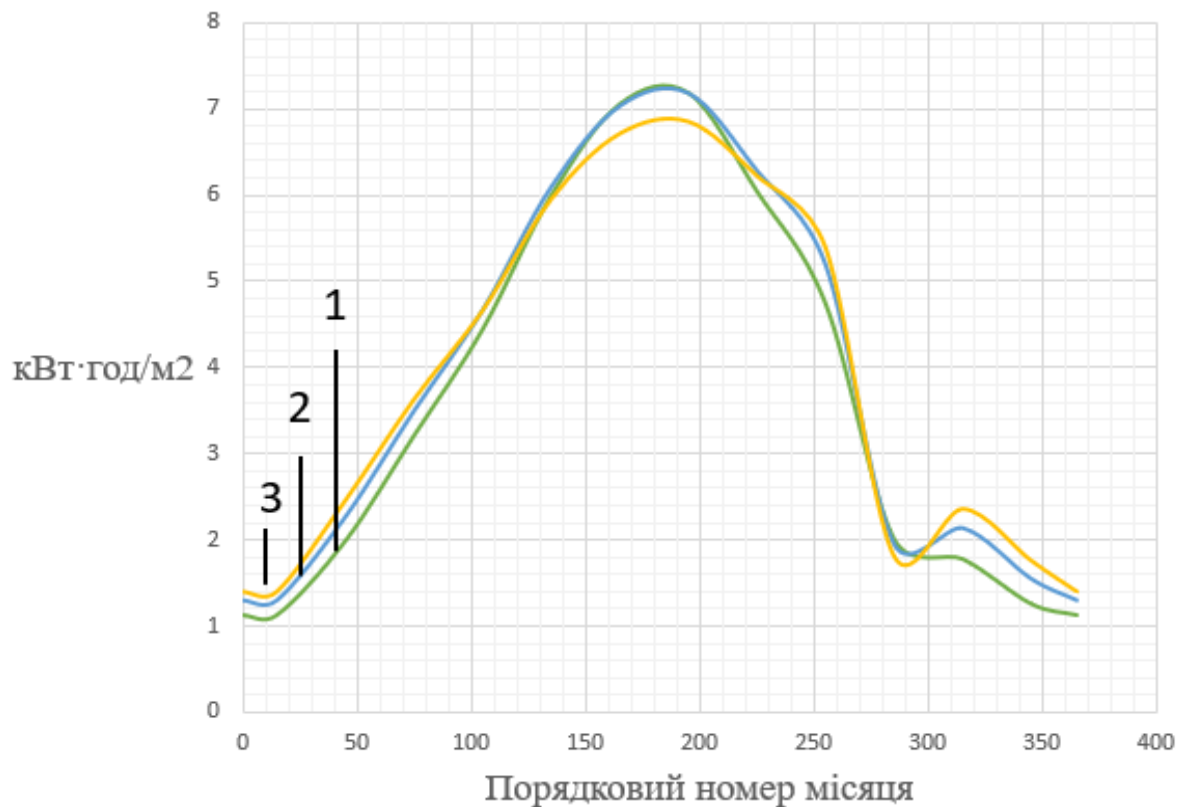


Рисунок 2.8 – Графік добового приходу інсоляції ФЕУ при куті нахилу ФЕМ: 1 – 15°, 2 – 30°, 3 – 45°

Розрахунок генерації енергії проводиться за заданою формулою (2.11):

$$E_{pv} = \eta_{pv} \cdot W_t \cdot S \quad (2.11)$$

де η_{pv} – ККД фотомодулів, S – сумарна площа фотомодулів, які мають оптимальний кут нахилу β .

При розрахунках необхідно враховувати координати Сонця (рисунок 2.9) [17], адже від цього залежить відстань між рядами фотоелектричних модулів. Це має вплив на загальний виробіток СЕС.

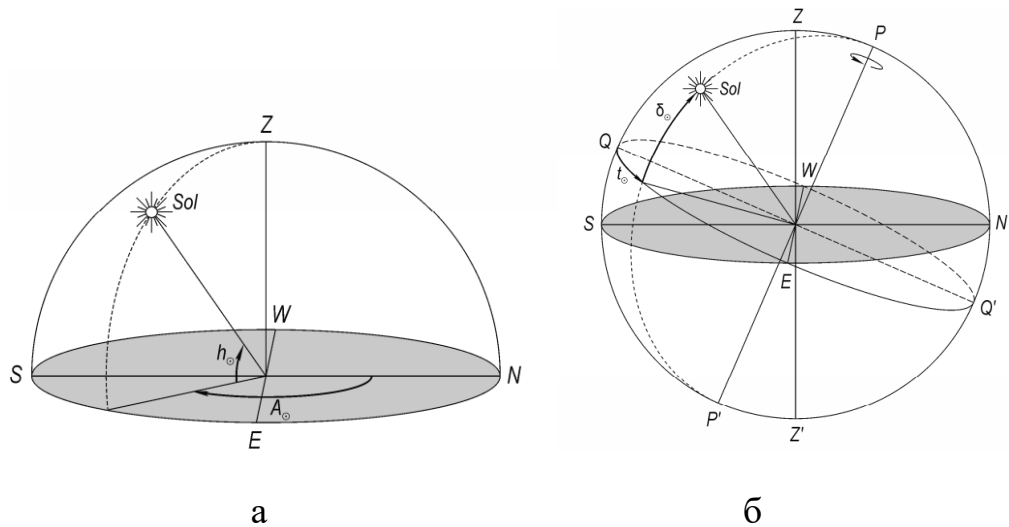


Рисунок 2.9 – Координати Сонця: (а) – горизонтальні, (б) - екваторіальні

Кількість встановлених фотоелектричних модулів становить 9450 шт. Результати виробітку річної енергії та енергії протягом 25 років наведені в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Загальний виробіток електроенергії СЕС

Кут нахилу	Річний виробіток, МВт·год	Виробіток за 25 років, МВт·год
15°	4 241,85	95 674,87
30°	4 444,16	100 238,18
45°	4 453,09	100 439,46

З даних таблиці 2.10 визначимо приблизну потужність, яку буде виробляти майбутня СЕС (2.12):

$$P_{sum} = N \cdot P_1 = 9450 \cdot 320 = 3\,024\,000 \text{ Вт} \quad (2.12)$$

де P_1 – потужність одного фотомодуля.

Отримана потужність рівна 3,02МВт.

З таблиці 2.16 бачимо, що максимальну кількість генерації енергії протягом року ми отримали при куті нахилу фотомодулів 45°. Проте, враховуючи, що дана СЕС повинна працювати у парі з ВЕС, головною метою постає не максимальний виробіток протягом року, а максимальний виробіток

протягом літнього періоду (червень – серпень), коли падає ефективність ВЕС.

Детально розглянувши рисунок 2.8 та таблицю 2.15 можна зробити висновок, що у даному проекті найбільш доцільно буде використовувати кут нахилу фотоелектричних модулів - 30° .

2.8 Сумарний виробіток сонячно - вітрової електростанції

Помісячний виробіток ВЕС показаний в таблиці 2.17 та на рисунку 2.10.

Таблиця 2.17 – Помісячний виробіток електроенергії ВЕС

Місяць	Виробіток, МВт·год
Січень	1083,64
Лютий	1064
Березень	1569,3
Квітень	1063,58
Травень	782,07
Червень	485,22
Липень	388,5
Серпень	427,68
Вересень	435,24
Жовтень	578,29
Листопад	964,18
Грудень	862,62

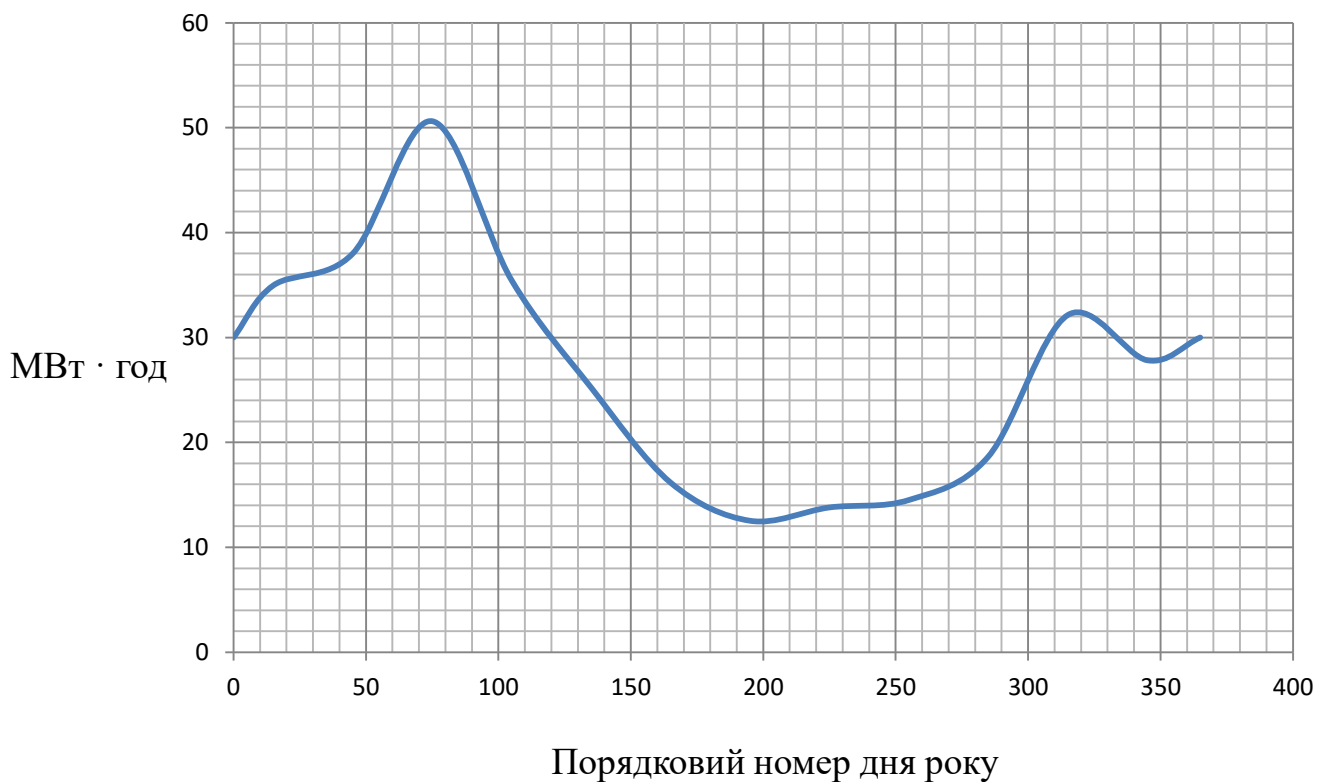


Рисунок 2.10 – Графік добового виробітку ВЕС протягом року

Помісячний виробіток СЕС показаний в таблиці 2.18 та на рисунку 2.11.

Таблиця 2.18 – Помісячний виробіток електроенергії СЕС

Місяць	Виробіток, МВт·год
Січень	116,69
Лютий	204,77
Березень	316,61
Квітень	421,64
Травень	552,01
Червень	636,52
Липень	649,69
Серпень	568,37
Вересень	469,99
Жовтень	175,63
Листопад	192,53
Грудень	139,73

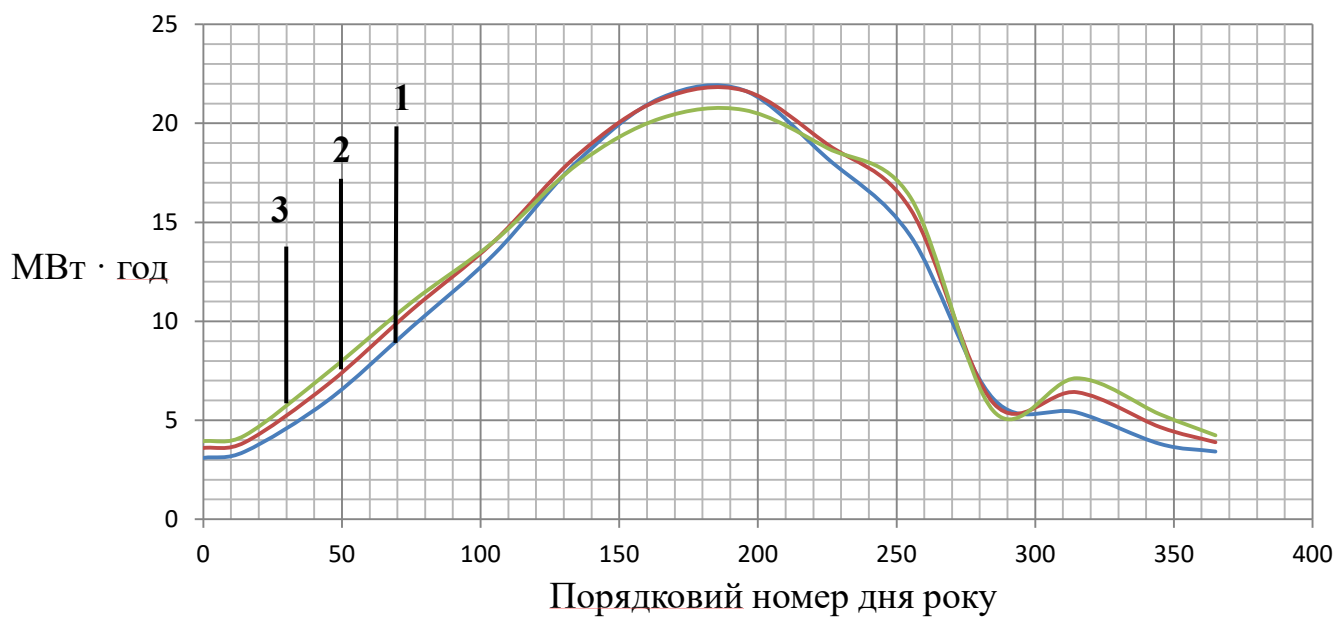


Рисунок 2.11 – Графік добового виробітку ФЕУ при куті нахилу ФЕМ:
1 – 15°, 2 – 30°, 3 – 45°

Сумарний виробіток сонячної та вітрової електростанцій наведений в таблиці 2.19 та на рисунку 2.12.

Таблиця 2.19 – Сумарний помісячний виробіток електроенергії СЕС та ВЕС

Місяць	Виробіток, МВт·год
Січень	1200,33
Лютий	1268,77
Березень	1885,91
Квітень	1485,22
Травень	1334,08
Червень	1121,74
Липень	1038,19
Серпень	996,05
Вересень	905,23
Жовтень	753,92
Листопад	1156,71
Грудень	1002,35

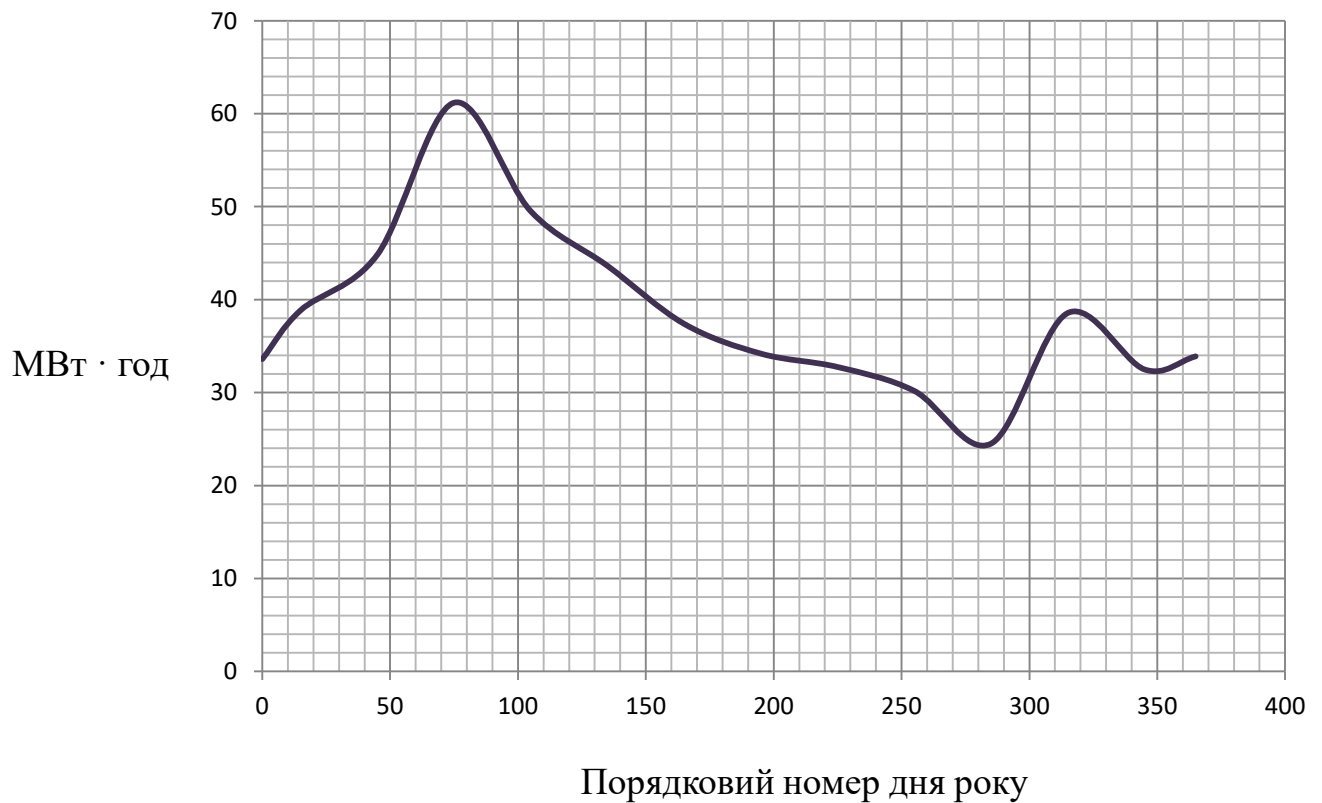


Рисунок 2.12 – Графік сумарного виробіток СЕС та ВЕС інтерпольований на кожний день року

2.9 Розрахунок максимально можливого виробітку водню для комплексної сонячно – вітрової електростанції

Для даної роботи в якості електролізера було обрано PEM електролізер SILYZER 300 від компанії Siemens. Це останній і найбільш потужний продукт з двохзначного мегаватного класу від Siemens. Однією з переваг даного електролізера є його модульна структура. Це дозволяє краще масштабувати потужність електролізера відповідно до виробітку електростанції, що в свою чергу збільшує її ефективність.

Даний електролізер зображений на рисунку 2.13, а його параметри, які надає виробник, наведені в таблиці 2.20.

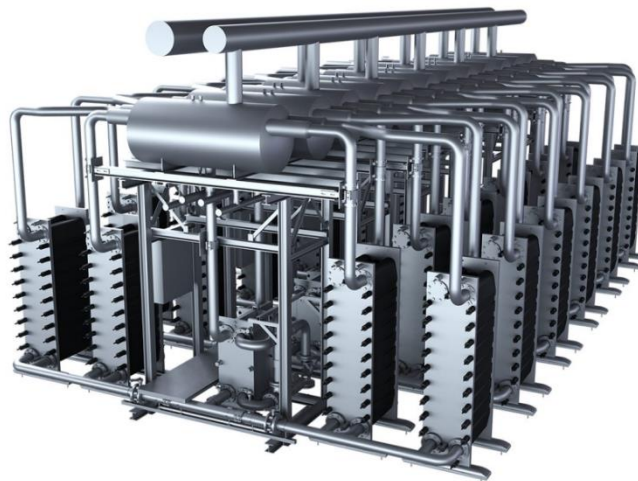


Рисунок 2.13 – Загальний вигляд електролізера SILYZER 300

Таблиця 2.20 – Параметри електролізера SILYZER 300

Параметри	SILYZER 300
Максимальна потужність, МВт	17,5
Максимальна кількість модулів, шт.	24
ККД, %	75
Максимальний виробіток за годину, кг	340
Витрата електроенергії на виробництво 1 кг Н ² , кВт·год	51,47
Час запуску, хв	< 1
Мінімальне навантаження, %	≥ 5
Витрати води на 1 кг Н ² , л	10
Динаміка навантаження, % / с	10

Розрахуємо ефективність нашої системи та можливий виробіток водню для 3-х випадків:

- 2 модулі електролізера – 1,46 МВт;
- 3 модулів електролізера – 2,19 МВт;

- 4 модулів електролізера – 2,92 МВт.

Знаючи, що на вироблення 1кг водню нам необхідно витрати $E_B = 51,47$ кВт·год енергії, ми можемо розрахувати добову потребу в електроенергії для кожного з наведених вище випадків.

Враховуючи дані наведені в таблиці 2.20 можемо розрахувати добовий виробіток водню при 100%-ому навантаженні електролізера (2.13).

$$m_{\text{доб}} = 14,17 \cdot N \cdot n \quad (2.13)$$

де, 14,17 – кількість водню в кілограмах виробленого одним модулем електролізера за 1 год при максимальному навантаженні,

N – кількість модулів електролізера,

n – кількість робочих годин електролізера за добу.

Розрахуємо добовий виробіток водню для трьох випадків. Результати наведені в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Виробіток водню електролізером протягом доби для різних потужностей

Кількість модулів	Потужність, МВт	Виробіток водню, кг
2	1,46	680,16
3	2,19	1020,24
4	2,92	1360,32

Враховуючи дані наведені в таблиці 2.21 розрахуємо добову затрату електроенергії при максимальному навантаженні електролізера для різних його потужностей (2.14).

$$E_{\text{доб}} = E_B \cdot m_{\text{доб}} \quad (2.14)$$

де E_B – витрата електроенергії на виробництво 1 кг H^2 ,

$m_{\text{доб}}$ – добовий виробіток водню.

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 – Затрати електроенергії на добу

Кількість модулів	Маса водню, кг	Затрати електроенергії, кВт·год
2	680,16	35 007,84
3	1020,24	52 511,75
4	1360,32	70 015,67

З таблиці 2.22, стає зрозуміло, що третій випадок – 4 модулі, 2,92 МВт потужність електролізера – не є раціональним у використанні.

Проведемо розрахунок виробітку водню протягом року, на основі отриманих даних (таблиця 2.23). Розрахунок був проведений за допомогою середовища Matlab.

Таблиця 2.23 – Річний виробіток водню

Кількість модулів	Затрати електроенергії, МВт·год	Маса водню, кг
2	11 828,16	229 806,88
3	13 085,94	254 244,03

Враховуючи дані з таблиці 2.23 можна зробити висновок, що найраціональніше обрати кількість модулів – 3.

Отримані дані використаємо для побудови суміжного графіка виробітку та споживання електроенергії в системі (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Суміжний графік

1 – сумарний добовий виробіток ВЕУ та ФЕУ.

2 – добове споживання електролізера в нормальному режимі роботи.

Отже, дана комплексна сонячно - вітрова електростанція, сумарною потужністю 6,47 МВт, здатна виробляти 254,24 т водню на рік.

2.10 Висновки до другого розділу

Аналіз технічно-економічних характеристик існуючих фотоелементів та технологій їхнього виготовлення, а також аналіз ринку вітрової та водневої енергетики дав змогу вибрати необхідне обладнання.

Розрахована система складається з 9450 монокристалічних фотомодулів компанії JA Solar марки JAM60S03-320/PR з технологіями HalfCell та PERC. Номінальна потужність кожного ФЕМ становить 320 Вт та вітрогенератора Vestas V136-3.45. Загальна встановлена потужність складає 6,47 МВт. Враховуючи прихід сонячної радіації в с. Покровське було визначено, що кут нахилу ФЕМ в 30° є оптимальним. Для даного кута було перераховано прихід сонячної радіації та загальний виробіток станції. Було проведено розрахунок виробітку ВЕС та повний розрахунок річного виробітку водню в запропонованій комплексній сонячно – вітровій системі.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ТА ВПЛИВ НА
НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

3.1 Термін окупності станції

На сьогоднішній день «зелений» водень є дорогим паливом, адже на його виробіток використовується дороге обладнання. На елементи такої системи треба близько 230 724 тис. грн. Розрахуємо ціну за якою продавати водень щоб витрати на обладнання окупились (таблиця 3.1).

	3 роки	5 років	7 років
Ціна, грн. / кг	334,7	200,8	143,4
Ціна, \$ / кг	11,9	7,2	5,1

Таблиця 3.1- Терміни окупності та ціна на водень

Щоб зменшити ціну на «зелений» водень треба знижувати витрати на електролізери та знаходити більш дешевші методи зберігання водню, що дозволить йому бути конкурентоспроможним з викопним паливом у всіх областях застосування.

3.2 Екологічний вплив станції на навколишнє середовище

Використання «зеленого» водню дозволить Україні стати більш незалежною енергетичною країною. Цей газ має вищу енергоємність, ніж природний і може замінити викопні джерела енергії. Саме це робить його паливом майбутнього. Використання водню як палива замість газу, нафти та вугілля може не лише позитивно вплинути на екологію та економічне зростання нашої держави, але і на її енергетичну безпеку.

У багатьох країнах Євросоюзу «зелений» водень розглядають як перспективне паливо не лише для газових мереж, а й для автомобільного транспорту. Тож кількість водневих заправних станцій у світі зростає. Найактивніше - в Японії, Китаї, Німеччині, США та Канаді. Разом з цим автомобільні концерни розробляють авто на водневих паливних елементах.

Відбувається це тому, що водень згодом допоможе скоротити викиди парникових газів і допомогти вирішити проблему зміни клімату. За

інформацією Міжнародного енергетичного агентства, додавання лише 20% водню в європейську газову мережу скоротить викиди CO₂ на 60 млн тонн на рік.

Використання водню не просто скоротило би викиди CO₂, а й дало б можливість заощадити кошти, бо суміш газу і водню дає більше тепла, ніж звичайний природний газ. Це було б добре як для населення, так і для промислових споживачів - металургійних заводів та хімічних підприємств. Але в Україні немає державної стратегії розвитку нової галузі енергетики, а проекти компаній не підтримуються так, як це відбувається у Європі.

3.3 Висновки до третього розділу

Можна зробити висновок що «зелений » водень є перспективним джерелом енергії. Використання водню може зменшити викиди CO₂ що дозволить покращити екологічне становище, та стати більш незалежною енергетичною країною. Проте зараз водень вироблений за допомогою відновлюваних джерел енергії є досить дорогим задоволенням, що поки сповільнює темпи його використання.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ

4.1 Система водневого акумулювання електроенергії

Комплексна сонячно – вітрова система з водневим акумулюванням енергії – це система в якій об’єднується дві основні технології відновлюваної енергетики на сьогоднішній день, з метою вироблення та подальшого продажу «зеленого» водню. Дані системи лише набувають попиту, а сама технології виробітку і зберігання водню є досить дорогою в порівнянні з технологіями на основі викопних палив. Тому однією з основних цілей є здешевлення методу вироблення «зеленого водню». Система використання надлишку електроенергії знизить загальну вартість системи та захистить електролізер від перенавантажень.

4.1.1 Опис ідеї проекту

В даному підрозділі аналізується та подається:

- Зміст ідеї;
- Можливості та напрямки застосування;
- Основні переваги користування послугою для користувача;

Для кращого розуміння різниці між підходом водневого акумулюванням електроенергії та підходом використання акумуляторних батарей, наведемо аналіз технічно-економічних переваг:

- Має змогу перенавантажуватись до 160% в періоди пікової виробітки (рисунок 2.15);
- Відмова від використання буферних АБ знижує загальну вартість системи;
- Надає можливість ефективно зберігати та використовувати надлишки електроенергії.

4.1.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Проведемо аудит технологій, за допомогою яких реалізується даний проект.

Для реалізації даної ідеї буде використовуватись система автоматичного управління, яка контролює та аналізує роботу сонячної та вітрової електростанцій. Також необхідна закупка, або оренда додаткового обладнання (так як пікове навантаження – сезонне) для корисного використання надлишкової енергії, а саме: обігріву службових приміщень.

В таблиці 4.1 представлено технологічне здійснення стартап ідеї для даного проекту.

Таблиця 4.1 – Технологічне здійснення проекту

№	Ідея проекту	Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Система водневого акумулювання електроенергії	Встановлення приладу для збору та обробки інформації з приводу роботи станції	+	+
2	Система водневого акумулювання електроенергії	Встановлення додаткового обладнання для виробництва «зеленого водню» методом електролізу.	+	+
Для реалізації системи водневого акумулювання електроенергії необхідно виконати вищезазначені пункти в заданому порядку				

Система водневого акумулювання електроенергії зменшить загальні витрати на побудову даної комплексно сонячно – вітрової електростанції, за рахунок відмови від АБ, надасть змогу забезпечити надійну роботу станції у режимах надмірного навантаження.

При використанні в даній комплексній системі буферних акумуляторних батарей, їх енергомісткість складе близько 20 МВт·год. Якщо

прийняти вартість 1 кВт·год у 200\$ то загальна вартість складе АБ складе близько 112 000 тис. грн.

А загальна вартість основного та допоміжного обладнання для виробництва «зеленого водню» за рахунок електролізних технологій в даній комплексній сонячно – вітровій системі складає близько 82 000 тис. грн, що в 1,34 рази менше від попередньо запропонованого підходу.

Окрім того електролізні технології отримання водню не несуть негативного впливу на навколишнє середовище, оскільки вихідними продуктами являються водень H_2 та кисень O_2 .

4.1.3 Аналіз можливостей ринку для запуску стартап-проекту

Виробництво «зеленого» водню набуває все більшої популярності у світі, що дає чіткий напрямок розвитку даного стартап – проекту. У зв'язку з тим, що у світі набирає розмаху тенденція відмови від використання АБ, так як їх важко утилізувати і вони забруднюють навколишнє середовище, виникають сприятливі умови для впровадження даного стартап - проекту до майбутніх та уже існуючих систем виробітку «зеленого» водню.

4.1.4 Висновки до четвертого розділу

Отже, система водневого акумулювання електроенергії має таку перевагу, що зменшує загальну вартість системи виробітку електроенергії. А також відмова від АБ надає можливість зменшити вплив на навколишнє середовище, що підтримує концепцію виробітку «зеленого» водню та використання відновлюваних джерел енергії у загальному.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

Ці Правила є обов'язковими при проектуванні, будівництві, реконструкції та експлуатації цехів і станцій з виробництва водню методом електролізу води, а також водневих компресорних станцій, призначених для наповнення балонів, посудин (ресиверів) газоподібним воднем.

5.1 Загальні положення

5.1.1 Проектування, будівництво та реконструкція заводів, цехів і станцій по виробництва водню, а також водневих компресорних станцій повинні проводитися відповідно до будівельних норм і правил, нормами технологічного проектування, і з дотриманням вимог цих Правил за проектами, затвердженим в установленому порядку. При використанні кисню, одержуваного в електролітичному виробництві водню, слід керуватися також Правилами техніки безпеки і виробничої санітарії при виробництві ацетилену, кисню і газополум'яної обробці металів або вказівками з проектування виробництв кисню та інших продуктів поділу повітря.

5.1.2 Прийняття в експлуатацію новозбудованих та реконструйованих заводів, цехів і станцій з виробництва водню, а також водневих компресорних станцій повинна проводитися комісією. Забороняється прийняття в експлуатацію нових і реконструйованих заводів, цехів і станцій з виробництва водню, а також компресорних станцій, що мають відхилення від цих Правил.

5.1.3 Всі відступу від цих Правил на діючих заводах, станціях і в цехах з виробництва водню, а також водневих компресорних станціях повинні бути усунені в терміни, узгоджені з місцевими органами. Протягом цього терміну повинні здійснюватися заходи, що забезпечують безпеку.

5.2 Електролізерні установки

5.2.1 Будова та експлуатація електролізерів повинні відповідати вимогам Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

5.2.2 електролізери повинні бути обладнані електричним захистом від:

- а) однополюсний коротких замикань на землю, крім електролізерів, у яких крайній електрод або корпус крайньої осередки по конструкції заземлений, наприклад, через газоотделителя;
- б) міжполюсних коротких замикань;
- в) зворотних струмів при застосуванні двигун-генераторів.

5.2.3 Рами, патрубки і кільця колекторів електролізерів, виготовлені з металу, повинні бути захищені від корозії футеровкою їх щелочестойкими і струмонеprовідними матеріалами або іншим надійним способом.

5.2.4 З усіх боків електролізерів, включених в роботу, повинні бути вивішені попереджувальні плакати «Під напругою».

5.2.5 Для безперервного контролю за вмістом домішки водню в кисні і кисню у водні електролізери повинні бути обладнані автоматичними газоаналізаторами з сигналізацією максимально допустимих концентрацій. Крім того, не менше одного разу на зміну повинен проводитися контрольний аналіз газів переносними хімічними газоаналізаторами.

5.2.6 Чистота водню, що виробляється електролізними установками, повинна бути не нижче 98,5%, а кисню - не нижче 98% (об'ємні.).

5.2.7 Величина максимально допустимого перепаду тиску між системами водню і кисню електролізера повинна відповідати паспортним даним заводу виробника, але не повинна перевищувати 300 мм. вод. ст.

5.2.8 Робота електролізерів при відсутності видимих рівнів електроліту в оглядових вікнах забороняється.

5.3 Охорона праці та техніка безпеки на СЕС

Безпека праці і пожежна безпека при будівництві та експлуатації проєктованих ФЕС забезпечується прийнятими проєктними рішеннями в суворій відповідності з Трудовим кодексом (стаття 154), Законом України "Про охорону праці" (стаття 24), "Правилами улаштування електроустановок" (далі - ПУЕ) (шосте видання), ДБН А.3.2-2 ПУЕБП

"Безпека праці і промислова безпека в будівництві". Основні положення "Закону

НАПБА.01.001 "Правила пожежної безпеки в Україні", НАПБ В.01.034 "Правила пожежної безпеки на підприємствах, в підприємствах і організаціях енергетичного сектора України", НАПБ 05.028 "Протипожежний захист енергетичних підприємств, деяких об'єктів і енергоблоків. Інструкція з проектування і експлуатації ", ДБН А.3.1-5" Організація будівельного виробництва "та інші нормативні акти (див. Додаток №2). Небезпечними факторами на ФЕС є елементи і обладнання під високою напругою до 1 кВ, на КТП 10 кВ. Проектом передбачена реалізація вимог, які враховують умови охорони праці,

профілактика травм, професійних захворювань, пожеж і вибухів. Для забезпечення охорони праці та пожежної безпеки проект передбачає:

- використання технічно сучасного обладнання;
- монтажні роботи машин і механізмів, в конструкції яких закладені принципи охорони праці;
- застосування при виконанні монтажних робіт за технологічними картами.

Будівництво ділянок ліній поблизу існуючих електроустановок, що знаходяться під напругою, повинно проводитися з дотриманням стандартизованих відстаней до працюючих машин і механізмів, їх правильного заземлення та інших заходів, що забезпечують безпечне виконання робіт.

У випадках, коли вимоги по відстані від елементів існуючих електроустановок, що знаходяться під напругою, до робочих механізмів не можуть бути виконані, необхідно відключити і заземлити ці електроустановки. Кількість, тривалість та час таких відключень вказуються в проектних роботах, що складаються підрядником відповідно до вимог ДБН А.3.1-5 і узгоджується енергопостачальною організацією.

Для забезпечення безпеки технічного обслуговування обладнання забезпечується захист струмоведучих частин, необхідні відстані ізоляції, механічні замки, пристрої захисного заземлення, системи дистанційного керування. Все обладнання підбрано стійким до електродинамічних і теплових впливів струмів короткого замикання, а автоматичні вимикачі володіють необхідною здатністю відключення.

Обраний бездоганне сучасне надійне обладнання має низьку ймовірність запалювання.

Основне обладнання ФЕС - фотоелектричні модулі виготовлені з негорючих матеріалів. КТП, що містять трансформаторне масло, є потенційно горючими.

Кожен КТП обладнаний вуглекислотним вогнегасником місткістю 7 літрів і ящиком з піском місткістю 0,5 м³ (за наявності відповідає особа від Замовника). Проект передбачає установку автоматичної системи пожежогасіння в камері трансформатора КТП, хоча, згідно з таблицею А.2 додатку А ДБН В.2.5-56: 2014 року, КТП не повинна бути обладнана автоматичною системою пожежогасіння та пожежною сигналізацією, так як вона не належить до групи I або II (по НАПБ 05.032).

Внутрішні проходи забезпечують вільний доступ пожежних машин і пожежних до КТП і ЯКНО.

5.4 Охорона праці та техніка безпеки на ВЕС

Технічне обслуговування вітряних турбін має здійснюватися відповідно до ГКД 41.003.003.007 бригади, кожна з яких складається не менше ніж з двох осіб. Такі бригади створюються в залежності від кількості і потужності вітряних турбін і зобов'язані для забезпечення спеціальним транспортом, набором спеціальних інструментів і пристосувань, а також комплект запасних частин до приладів серійного виробництва. Робота бригад техобслуговування вітряних турбін виконується протягом дня. Організація роботи вітряних турбін повинна забезпечувати їх безперебійну роботу. в допустимих режимах, надійне функціонування пристроїв управління, захисту

та автоматики, в синхронних генераторах - системах збудження. У цьому випадку повинні бути виконані вимоги інструкція з експлуатації виробника. Інструкція по експлуатації вітряних турбін повинна відповідати вимогам пункту 5.8.11 цих Правил і ГКД 341.003.003.007.

При експлуатації вітряних турбін необхідно дотримуватися таких умов:

- застосування заходів безпеки при роботі з даним типом вітряних турбін;
- Технічне обслуговування вітряних турбін має здійснюватися тільки персоналом, який пройшла спеціальну підготовку;
- Для кожної вітряної турбіни повинні бути складені форми або протоколи результатів профілактичних оглядів і технічне обслуговування;
- допускається зняття ущільнень з обладнання, опечатаного виробником тільки з його згоди і в присутності його представника;
- протягом гарантійного терміну експлуатації в разі виходу з ладу елементів компоненти повинні бути відправлені виробникові.

Під час роботи вітряна турбіна повинна строго дотримуватися всі її режими, параметри, встановлені виробником, і умови його прямого підключення повинні бути виконані до промислової мережі через трансформаторну точку в складі вітряної електростанції.

Вітроелектростанції потужністю менше 20 кВт підключаються до електричних мереж споживача та експлуатуються відповідно до інструкції заводу-виготовлювача.

При наявності потенціалу вітру, достатнього для підвищення параметрів встановленого режиму роботи вітряних турбін, допустимість якого підтверджена виробником, може короткочасно перевищувати свою номінальну потужність не більше ніж на 5%.

Автоматична система управління вітряної турбіною повинна забезпечувати роботу в режимі управління власної автоматизацією, а також в режимі роботи в складі САУ ВЕС.

Після ремонту або модернізації системи управління вітротурбін перед підключенням вітряні турбіни до мережі повинні забезпечувати перевірку всіх систем управління вітряними турбінами.

В процесі експлуатації система автоматичного управління і контролю вітротурбін повинні забезпечити виконання таких функцій:

- запуск вітряних турбін і включення їх в мережу;
- управління та діагностику приладів і обладнання;
- стабільна підтримка номінального навантаження при швидкості вітру, яка перевищити номінал;
- програмна і аварійна зупинка вітряних турбін;
- обмеження частоти обертання ротора в межах допустимих меж для перезапуску навантаження, пов'язані з відключенням вітряних турбін від мережі;
- орієнтація ротора (управління орієнтацією) в напрямку вітру;
- подача інформації на верхній рівень СКУД.

Огляд систем управління вітровими турбінами на предмет миттєвого скидання навантаження повинен виконуватися шляхом відключення від мережі в наступних випадках:

- при введенні в експлуатацію вітряних турбін після установки або капітального ремонту;
- після ремонту або модернізації системи управління вітровими турбінами.

Запуск вітряних турбін заборонений:

- в разі несправності системи діагностики, технологічної та електричного захисту;
- в разі сейсмічних та інших природних впливів (обмерзання, град, снігопад), які перевищують допустимі значення, зазначені в заводській документації.

Вітрова турбіна повинна бути негайно вимкнена і зупинена для захисту штатного персоналу в наступних випадках:

- перевищення допустимого рівня вібрації окремих вузлів;
- перевищення допустимої температури контрольованих вузлів;
- витік масла;
- збільшення частоти обертання ротора вітряної турбіни вище допустимого значення;
- перевищення швидкості вітру над встановленим значенням швидкості відключення
- виникнення короткого замикання в системі генерації;
- перевантаження генератора по потужності вище допустимих значень;
- пожежа;
- виникнення ситуації, небезпечної для обслуговуючого персоналу;
- виникнення зовнішніх умов, зазначених в пункті 11.3.9 цих Правил.

Вітрова турбіна повинна бути відключена від мережі і зупинена за допомогою за рішенням технічного керівника вітропарку в наступних випадках:

- Виявлення несправностей в його механізмах і системах;
- відмова окремих каналів захисту й діагностики;
- отримання повідомлення про прогнозований сейсмічній дії;
- виникнення зовнішніх умов, небезпечних для експлуатації вітроустановок.

5.5 Висновки до п'ятого розділу

В даному розділі наведені правила поведінки з установками по виробітку водню, користування електролізерними установками, техніка безпеки на СЕС та ВЕС. Щоб умови праці співробітників були безпечними, необхідно дотримуватись наведених норм та правил поведінки на даному підприємстві. Процеси отримання водню методом електролізу води є пожежно-вибухово небезпечними. При порушенні технологічного режиму і аваріях виникає небезпека виділення газів, вибуху, пожежі, опіку лугами та ураження електричним струмом.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Проведено аналіз технологій виробництва водню, що показало актуальність впровадження електролізних технологій. Аналіз технічно-економічних характеристик існуючих фотоелементів та технологій їхнього виготовлення, а також аналіз ринку вітрової та водневої енергетики дав змогу запропонувати проект комплексної сонячно - вітрової системи, основною задачею якої є акумулювання «зеленого» водню.

Оцінено потенційно можливий виробіток ФЕУ та ВЕУ, який складає: 4444,18 МВт·год та 9648,36 МВт·год за рік відповідно. Для роботи електролізера у нормальному режимі, добовий виробіток комплексної системи не повинен перевищувати 52,5 МВт год. Сформовано техніко-економічне рішення комплексної сонячно-вітрової системи з водневим акумулюванням енергії, яка виробляє 250 тисяч кілограм водню та 1,8 млн кг кисню за рік при встановленій потужності у 6,47 МВт.

Розрахована система складається з 9450 монокристалічних фотомодулів компанії JA Solar марки JAM60S03-320/PR з технологіями HalfCell та PERC. Номінальна потужність кожного ФЕМ становить 320 Вт та вітрогенератора Vestas V136-3.45.

Були представлені принципова та електрична схеми підключення фотоелектричних панелей та вітрової установки до електролізера (додаток А).

Було зроблено розрахунок повної вартості сонячно - вітрової електростанції з водневим акумулюванням, з врахуванням поточних та капітальних ремонтів, виробітку водню та прибутку впродовж гарантійного терміну. Термін окупності напряду залежить від ціни на вироблений водень.

Розроблено стартап проект для даної системи та розраховано періоди окупності при різній ціновій політиці компанії.

Детально розглянуто питання електробезпеки та пожежної безпеки при роботі з електроустановками з метою забезпечення виконання проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ахметшин, А.Т. Підвищення ефективності сонячних фотоелектричних установок для децентралізованого електропостачання сільськогосподарських споживачів / А. Т. Ахметшин, У. Р. Ярмухаметов // Вісник Іркутського державного технічного університета. – 2015. – № 8. – С.150-156.
2. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Кудря Степан Олександрович. - Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. – 495 с.
3. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії/: к.т.н. Будько В.І. – модуль - Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2015 – 18с.
 Режим доступу:
http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_10.pdf;
4. Сонячна батарея: історія розвитку технологій. Режим доступу:
<http://sunnik.com.ua/solnechnya-batareya-istoriya-razvitiya-tehnologii/>;
5. Історія розвитку сонячної енергетики [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://lenergy.com.ua/2018/03/18/>;
6. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Підручник / Київ, НТТУ "КПІ", 2012. 490 с
7. Типи сонячних панелей. Режим доступу:<http://blog.topelectro.com.ua/2018/03/solar-panels-choice/>;
8. Типи сонячних панелей. Режим доступу:<https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/tipi-sonyachnix-panelej/>;
9. ABISolar. Режим доступу: <https://abi-solar.com/uk/про-компанію>;
10. AmeriSolar. Режим доступу: <http://www.weamerisolar.com/>;
11. JA Solar. Режим доступу: <http://www.weamerisolar.com/>;
12. C&T. Режим доступу: <http://www.candtsolution.com/en/>;
13. Jinko Solar. Режим доступу: <https://www.jinkosolar.com/>;

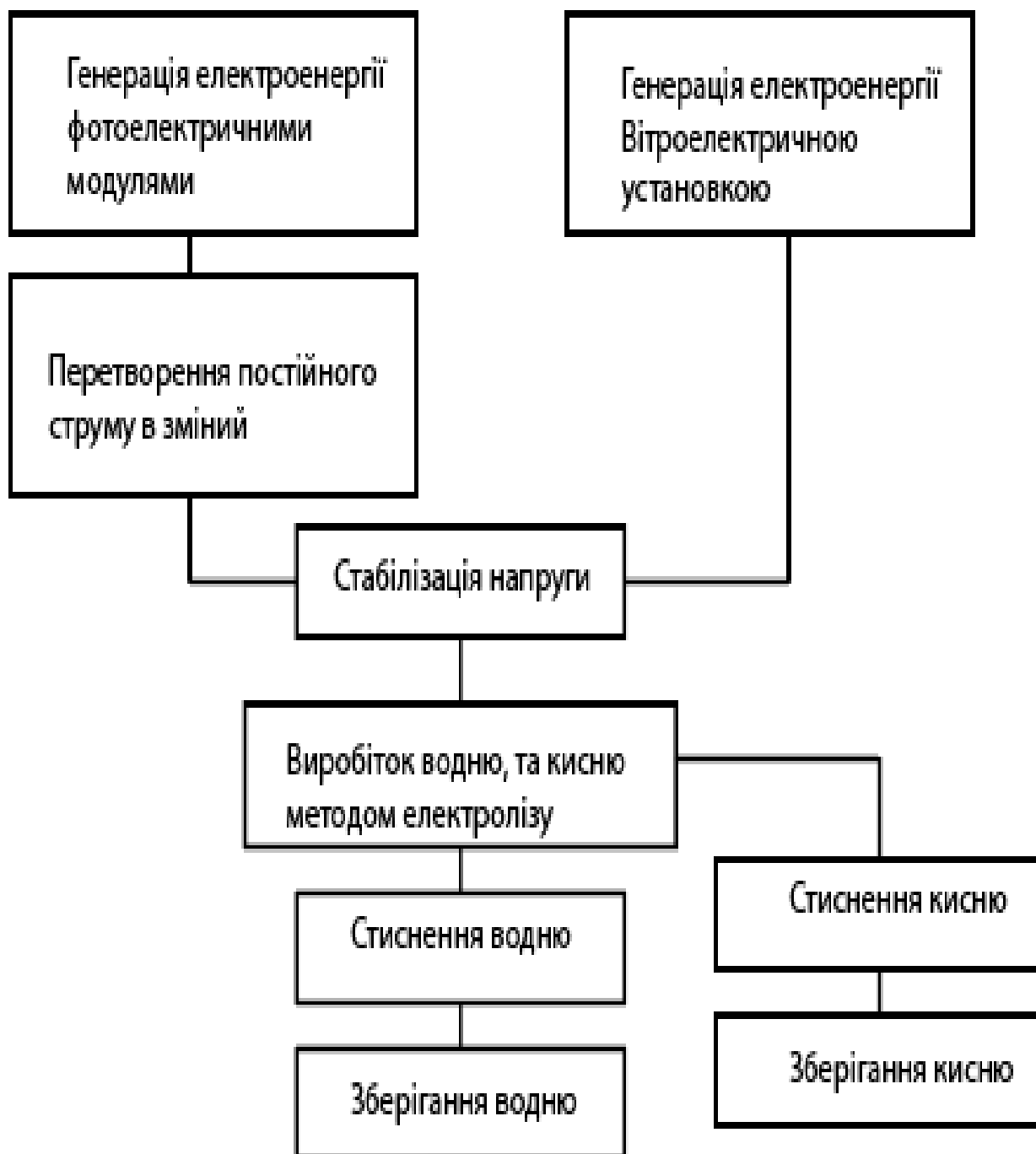
14. Режим доступу: <http://www.uiis.com.ua/sunenergy/>;

15. Литвинчук А.Ю. Дахова мережева фотоелектростанція на базі навчального корпусу. Магістерська дисертація. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2018. – 16 с

16. Наявний потенціал (фізичний, технічно досяжний та економічно доцільний) розвитку сонячної енергетики в Україні. Режим доступу: <http://www.reee.org.ua/renewable-energy/solar/>;

17. Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. Техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист. //Алгоритм визначення густини потоку сонячного випромінювання на довільно-орієнтовану поверхню. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація., 2012, вип. 25, ч.І, стр. 303-312;

ДОДАТОК А

Принципова схема комплексної сонячно-вітрової системи з водневим
акумуляванням енергії

Електрична схема комплексної сонячно-вітрової системи з водневим акумуляванням енергії

